

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»
УДК 678.065

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри О.В.Гондлях
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 6.050503 - Машинобудування

на тему: Обладнання для виробництва наномодифікованих шин з дослідженням їх механічних властивостей _____

Виконав : студент 2 курсу, групи ЛП-91мп

Мамчур Олександр Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н., Гондлях О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти з:

ТМ та Е

(назва розділу)

Борщик С. О

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Модернізації

(назва розділу)

д.т.н., проф. Щербина В. Ю.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент, Степанюк А. Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет інженерно-хімічний

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
О.В.Гондлях
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мамчур Олександр Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Обладнання для виробництва наномодифікованих шин з дослідженням їх механічних властивостей
науковий керівник дисертації проф., д.т.н., Гондлях О.В. ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «__» _____ 2020 р. №__
2. Строк подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження механічні властивості наномодифікованих шин
4. Предмет дослідження обладнання для їх виробництва автомобільних шин
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Проаналізувати сучасні методи покращення характеристик автомобільних шин та методи їх виготовлення. 2. Розробити 3D модель типової автомобільної шини. 3. Визначити напружено-деформівний стан типової автомобільної шини за умов її вертикального навантаження та проаналізовано розподіл напружень та деформацій, які виникають в клейовому шарі між протектором і основою шини. 4. Аналізувати розподіл напружень в шині та безпосередньо в клейовому шарі. 5. Дослідити задачі витягування нанотрубки з масиву гуми та визначити оптиміальний коефіцієнт армування гум нанотрубками.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1. Креслення форматора-вулканізатора. 2. Креслення гумозмішувача. 3. Схема лінії виробництва шин. 4. Складальна машина та конструкція шини. 5. Типова автомобільна шина 6. Скінчено-елементна модель і механізм руйнування композиту "нанотрубка-гума". 7. Результати розрахунків

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 стаття, 1 тези _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Модернізація	Щербина В.Ю., проф. каф. ХПСМ		
ТМ та Е	Борщик С.О., ст. викладач каф. ХПСМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз сучасних методів покращення характеристик автомобільних шин та методи їх виготовлення	19.10-24.10.2020	
2	Розробка креслень машин – гумозмішувача та форматора вулканізатора	25.10-30.10.2020	
3	Розробка 3D моделі типової автомобільної шини	28.10-5.11.2020	
4	Літературно патентний огляд та вибір модифікації лінії	5.11-9.11.2020	
5	Підготовка статей до публікації, написання розділу охорони праці, виконання стартап проекту	9.11-13.12.2020	
6	Вибір обладнання для модифікації лінії	9.11-12.10.2020	
7	Розробка методу покращення характеристик шини	9.10-1.12.2020	
8	Проведення чисельних експериментів	15.11-5.10.2020	
9	Аналіз отриманих результатів	5.12-12.12.2020	
10	Оформлення записки магістерської дисертації	13.11-18.12.2020	
11	Формулювання висновків, підготовка презентації дисертаційної роботи	12.12-16.12.2020	

Студент

(підпис)

Мамчур О.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Гондляр О.В.

РЕФЕРА

Магістерська дисертація «Обладнання для виробництва наномодифікованих шин з дослідженням їх механічних властивостей» / О. В. Мамчур КПП ім. Ігоря Сікорського; н. керівник О. В. Гондляр .

Об'єктом дослідження є механічні властивості наномодифікованих шин.

Метою проекту є розробка і вивчення, згідно технічного завдання, механічних властивостей наномодифікованих шин та обладнання для їх виробництва.

Пояснювальна записка до дипломного проекту складається з вступу, основного розділу, висновків, літератури з 34 джерелами і 7 додатками, 41 рисунком та 7 таблицями. Загальний обсяг замітки становить 77 сторінки. Графічна частина містить 9 рисунків у форматі A1.

Проект містить опис технологічного процесу, виготовлення автомобільних шин, опис, призначення та місце в технологічній схемі агрегатів які використовуються при виготовленні автомобільних шин.

У проекті виконано літературний пошук на тему дослідження технічних та експлуатаційних характеристик шин, модифікованих вуглецевими наночастинками.

Результати роботи:

- розроблено розрахункову модель типової автомобільної шини;
- розроблено скінчено-елементну модель композиту «нанотрубка-гума»;
- досліджено вплив на межу міцності наномодифікованої гуми від коефіцієнту армування її нанотрубками;
- встановлено оптимальне значення коефіцієнту армування;
- результат аналізу даних розрахунків було виявлено слабкі місця у клейовому шарі, який з'єднує протектор і основу шини;
- розглянуто вимоги охорони праці на лінії по виробництву шин.

Ключові слова: НАНОМАТЕРІАЛ, КАУЧУК, ГУМА, ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.

ABSTRACT

Master's thesis "Equipment for the production of nanomodified tires with the study of their mechanical properties" / O. V. Mamchur KPI named after Igor Sikorsky; scientific director A.V. Gondliakh.

The object of the study is the mechanical properties of nanomodified tires.

The purpose of the project is to develop and study, according to the terms of reference, the mechanical properties of nanomodified tires and equipment for their production.

The explanatory note to the draft diploma consists of the entry, main section, conclusions, literature from 34 sources and 7 annexes, 41 figures, 7 tables. The total size of the note is 77 pages. The graphic part contains 9 figures in the format of A1 format.

The project contains a description of the technological process, the manufacture of automobile tires, a description, purpose and place in the technological diagram of the units that are used in the manufacture of automobile tires.

The project conducted a literary search on the study of the technical and operational characteristics of tires modified with carbon nanoparticles.

Results of work:

- design model of typical automobile tyre has been developed;
- A skincene-element model of the nanotube-rubber composite has been developed;
- Effect of nanomodified rubber strength on its nanotube reinforcement from coefficient has been investigated;
- the optimal value of the reinforcement factor is set;
- The result of these calculations revealed weaknesses in the adhesive layer that connects the tread and the tire base;
- labor protection requirements on the tyre production line were considered.

Keywords: NANOMATERIAL, CAOUTCHOUC, RUBBER, CRACK RESISTANCE, DURABILITY, METHOD FINITE ELEMENTS.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

f_m	– масовий коефіцієнт армування , %;
f_v	– об’ємний коефіцієнт армування , %;
V	– об’єм, м ³ ;
ρ	– густина, кг/м ³ , г/см ³ ;
m	– маса, кг;
L	– довжина кола, м;
H	– висота, м;
D	– діаметр, м;
E	– модуль пружності, МПа;
μ	– коефіцієнт Пуассона;
$[\sigma]$	– межа міцності, МПа;

Основні скорочення

ВНТ	– вуглецеві нанотрубки;
БВНТ	– багатошарові вуглецеві нанотрубки;
ПЕМ	– просвічуваний електронний мікроскоп;
СЕ	– скінчений елемент;
МСЕ	– метод скінчених елементів.

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1. Лінія по виробництву шин	3
2. Технічні характеристики базової конструкції.....	6
3. Опис базової конструкції та основних частин лінії виробництва автомобільних шин	7
4. Літературний та патентний огляд.....	19
5. Вибір модернізації.....	26
6. Охорона праці	28
7. Дослідження механічних властивостей автомобільних шин і модернізація лінії для їх виробництва	32
7.1. Вибір методу дослідження та опис програмного забезпечення	32
7.2. Математична модель отримання параметрів тріщиностійкості системи «нанотрубка-каучук»	33
7.3. Визначення параметрів тріщиностійкості наноармованої гуми	36
7.4. Аналіз міцності та надійності типової автомобільної шини	40
8. Аналіз достовірності отриманих результатів	48
9. Вибір обладнання для модернізації лінії	52
ВИСНОВКИ.....	56
Список використаних літературних джерел	58
Додатки	

Вступ

Метою виконання дипломної роботи є дослідження механічних властивостей наномодифікованих шин та модернізація обладнання для їх виробництва.

Шина – це пружна оболонка, розташована на ободі колеса і є одним з його найважливіших елементів. Вона призначена для поглинання незначних коливань, викликаних недосконалістю дорожнього покриття, компенсації погрішності траєкторій коліс, реалізації та сприйняття сил, що виникають у плямі контакту та забезпечення високого коефіцієнта зчеплення.

Виготовлення шин відбувається в три етапи. Перший етап, виробництво гумових сумішей, починається зі змішування в роторних гумозмішувачах підготовленого натурального, або синтетичного каучуку з іншими складовими, такими як вулканізатори, зміцнювачі, пластифікатори, барвники, стабілізатори та інші компоненти. Зазвичай, змішування гумових сумішей для автомобільних шин проходить двічі, а, так як роторні гумозмішувачі є обладнанням періодичної дії, то гуму після змішування гранулюють. Після другого змішування гранульована суміш подається на екструдери, шприц машини та машини для прорезинення посилюючих елементів для формування частин шини. Складання шин виконується на спеціальних складальних верстатах на яких всі деталі шини з'єднуються в єдине ціле. Для цього на складальний барабан послідовно накладаються шари каркасу, борт, по центру каркасу протектор з боковинами або без них. Зазвичай, складання основи виконується окремо, а потім на неї встановлюють протектор. При цьому, між деякими шарами, наприклад протектором і основою шини, наносять спеціальний клей або накладають шар спеціального матеріалу, який забезпечує більш якісну вулканізацію та необхідну міцність в місці з'єднання протектора з армованою основою.

При цьому найкращим способом покращення характеристик шин на даний момент є модифікування гуми нанотрубками.

1. Лінія по виробництву шин

Збільшення виробництва різних синтетичних каучуків дозволило запуснути масове виготовлення виробів з гумових сумішей, а саме шин, рукавів, формованих і неформованих гумо-технічних виробів, ременів, транспортних стрічок, гумової підошви для взуття та ін.

Виробництво шин починається з гумових сумішей, які виготовляють на гумозмішувачах. В виробництві шин, зазвичай, використовують роторні гумозмішувачі. Роторний гумозмішувач є машиною періодичної дії, що застосовується для виробництва гумо-технічних виробів.

Роторний гумозмішувач 51 дм³ призначений для змішування каучуку з наповнювачами для приготування гумових сумішей з пластичністю не менше 0,03 згідно ГОСТ 415-85.

Склад гумових сумішей багато в чому залежить від функціонального призначення шин, що визначають її складові: сірка, вуглець, каучук та ін. Тому автомобільна шина являє собою багатокомпонентну систему (рис.1.1), яка складається з:

- Натуральний каучук – 14 %;
- Синтетичний каучук – 27 %;
- S, ZnO – 3 %;
- Сталь – 10 %;
- Текстиль – 4 %;
- Пом'якшуючі масла – 10 %;
- Інші нафтохімічні складові – 4 %;
- Сажа – 28 %.

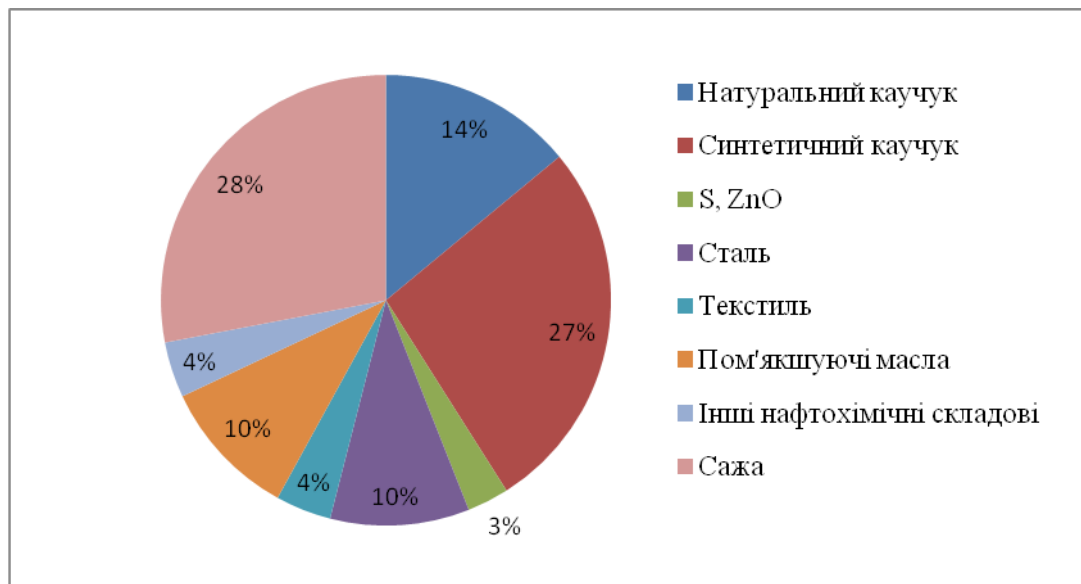


Рис. 1.1 - Склад матеріалу шини [29]

При змішуванні якість гумової суміші залежить від рівномірного розподілення в ній всіх інгредієнтів, що забезпечується регулюванням швидкості, формою ротора й корпусу та її здатністю легко піддаватися пластичним деформаціям при подальшій переробці. Якість вулканізаторів залежить від рівномірного розподілу в суміші реагентів вулканізації та активних наповнювачів.

Порошкові інгредієнти, які вводяться в гумозмішувач, у тому числі й різні модифікатори, в основному мають вигляд твердих дрібних часток, в ряді випадків - грудок (агломерату). Для їхнього введення в каучукове середовище і розподілу в ньому прикладається зусилля для подолання сил взаємодії між частинками.

Готові деталі надходять на верстат для складання шин. Цей верстат являє собою автоматизований комплекс, що керується оператором. Він складається з обертових барабанів, на яких збираються заготовки з компонентів, які подаються на пристрої для постачання складальної машини.

Складання елементів шин є найскладнішим процесом, який, незважаючи на механізацію і автоматизацію, має велику частку ручних операцій. На одному барабані збирається каркас шини, на іншому його бічна частина. Після

закінчення складання барабани поєднують і притискають заготовки, надаючи їм форму шини.

Вулканізація – це завершальний процес виробництва шини, який здійснюється в пресах-вулканізаторах. Форма шини, боковини, маркування і, найважливіше, малюнок протектора наносяться за допомогою сегментних форм, які виробляються тут же, в спеціальному цеху при заводі. Зсередини шини розпирають спеціальні вулканізаційні діафрагми. Процес виготовлення однієї легкової шини триває 10-15 хвилин за температури 170 ° С та тиску 20 бар.

Після вулканізації шини проходять остаточний вихідний контроль. Незважаючи на те, що на кожній стадії виготовлення продукту здійснюється свій контроль, перевірка кожної одиниці готового продукту обов'язкова. Спочатку шини проходять візуальний контроль. Потім за допомогою спеціалізованого обладнання здійснюється перевірка на однорідність і биття шини (радіальне і діагональне). Після цього шини відправляються на склад готової продукції. Якщо на якомусь етапі шина відбракована, то вона надходить на ділянку грейдера, де фахівці вирішують, чи можливий її ремонт. Після цього шину або ремонтують і знову виконують усі етапи перевірки, або відбраковують остаточно і відправляють на переробку.

2. Технічні характеристики базової конструкції

Технічні характеристики показують основну та особливу інформацію про агрегат. За цими показниками проводиться порівняльний аналіз зразка з подібними йому для подальшого вибору й обґрунтування обраного варіанту. Основні показники базової машини показані в табл.2.1.

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики базової машини для складання шин

Показник	Одиниці виміру	Значення
Продуктивність за 1 годину	шт.	11
Встановлена потужність	кВт	120
Струм для живлення електропривод змінний трьох фазний: частота/напруга	Гц/В	50/380
Головний електродвигун:		
потужність	кВт	120
напруга	В	380
частота обертання	об/хв.	985
Чисельність обслуговуючого персоналу	чол.	1
Габаритні розміри:		
довжина	мм	6200
ширина	мм	4400
висота	мм	4460
Маса	кг	16400
Термін служби (до капітального ремонту)	год.	33000

3. Опис базової конструкції та основних частин лінії виробництва автомобільних шин

Процес виробництва шин є досить складним так як сучасна автомобільна шина має багато конструктивних елементів. Конструктивний склад шини показаний на рис.3.1 .

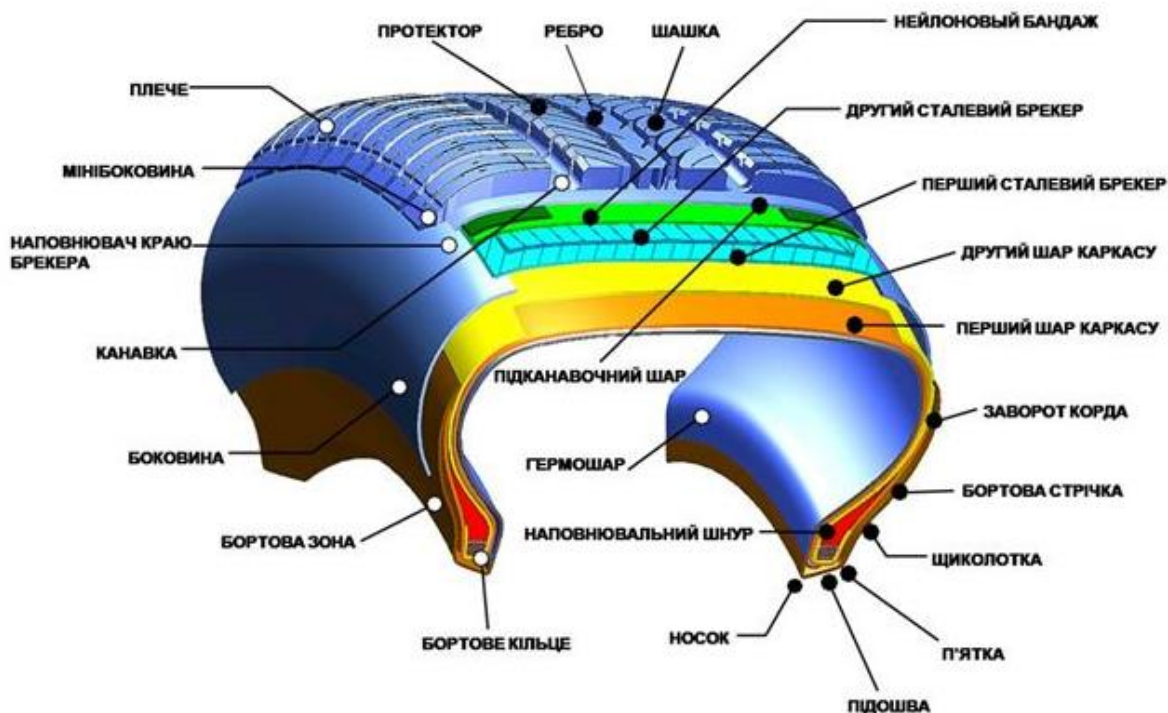


Рис.3.1 - Конструктивний склад шини [10]

Каркас шини можна порівняти із скелетом – це основа, яка зв'язує всі інші елементи і яка утримує всі експлуатаційні навантаження. Каркас формується з текстильного, полімерного або металевих корду.

Брекер знаходиться між каркасом та протектором. Він призначений для захисту каркасу від ударів, підвищення твердості шини в області плями контакту шини з дорогою та для захисту шини (та камери у камерних шин) від наскрізних механічних пошкоджень. Виготовляється з товстого шару гуми (у легких шинах) або схрещених шарів полімерного корду та/або металокорду.

Протектор необхідний для забезпечення прийнятної коефіцієнта зчеплення шини з дорогою, а також для запобігання пошкоджень каркасу.

Протектор має певний малюнок, який відрізняється залежно від призначення шини. Шини високої прохідності мають глибший малюнок протектора і ґрунтозачіпки на його бічних сторонах.

Борт дозволяє покритищі герметично сідати на обід колеса. Для цього він має всередині сформовані з дроту міцні металеві кільця, що забезпечують його щільне зчеплення з ободом колеса. Герметичність безкамерної шини забезпечується шаром в'язкої повітронепроникної гуми, який називається гермощар.

Бокова частина оберігає шину від бокових пошкоджень та працює її амортизатором, за принципом пружини.

З метою підвищення безпеки руху автомобіля в умовах ожеледі та зледенілого снігу в протекторі шини застосовують металеві шипи проти ковзання. Для виготовлення шин використовується велика кількість різних гумових сумішей так як для кожного шару є свої вимоги. Виготовлення всіх цих сумішей проводяться в основному на роторних змішувачах.

Базова конструкція роторного змішувача СЧ18-36 показана на рис. 3.2. На фундаментній плиті 1 встановлена змішувальна камера 2, яка складається із двох сталевих напівциліндрів та двох чавунних торцевих стійок – боковин. Змішування завантаженого матеріалу здійснюється двома сталевими фігурними роторами 5, встановленими у змішувальній камері, які обертаються назустріч один одному з різними швидкостями.

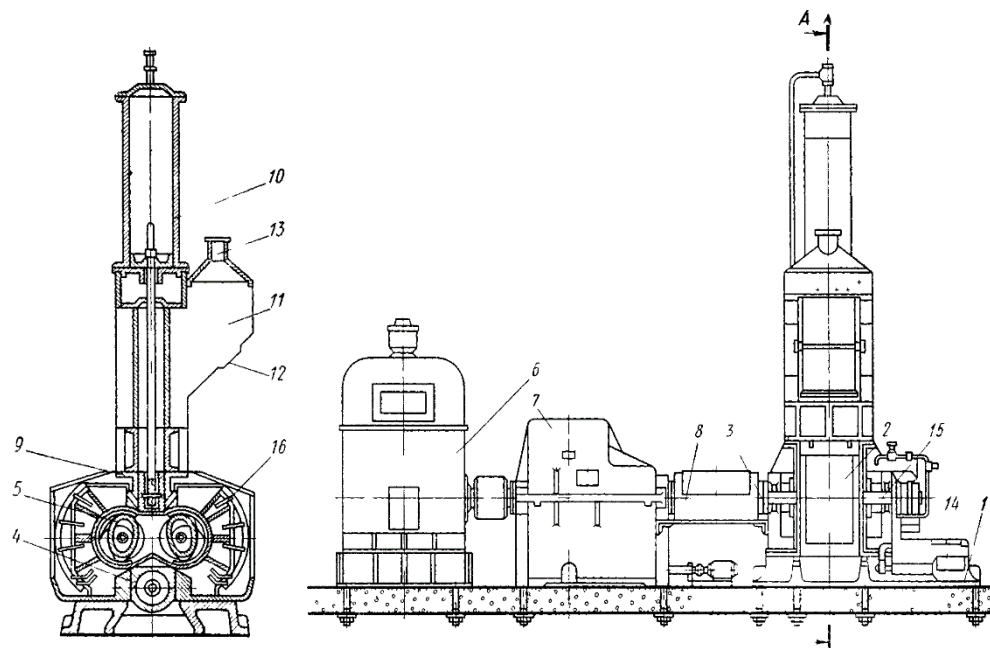


Рис.3.2 Двороторний гумозмішувач 51 дм³.

Над змішувальною камерою встановлена завантажувальна воронка 11, через яку компоненти завантажуються у камеру змішування. Воронка зачиняється відкидними дверцятами 12, які переміщуються за допомогою пневмоциліндра. Над завантажувальною воронкою встановлений другий пневмоциліндр 10 з поршнем, до штоку якого прикріплений замикаючий пристрій 9, який представляє собою клин прямокутного перерізу. При нижньому положенні поршня, клин щільно зачиняє завантажувальний отвір змішувальної камери за допомогою пневмоциліндра.

Ротори змішувача встановлюють на підшипниках ковзання або хитання та приводять до обертання від індивідуального чи групового приводу за допомогою електродвигуна через типовий або спеціальний блок-редуктор.

Змішувальна камера, ротори, вантаж і наскрізні дверцята завантажувального пристрою в залежності від призначення змішувача забезпечені порожнинами для циркуляції теплоносія.

Робота змішувача здійснюється наступним чином. При зачиненому нижньому розвантажувальному отворі дверцята завантажувальної воронки

відкриваються, вантаж піднімається вгору за допомогою автоматичних зрівноважуючих пристроїв, компоненти суміші завантажуються у змішувальну камеру за встановленою технологією послідовністю. Після завантаження інгредієнтів суміші зачиняється верхній отвір, ротори обертаються та починається процес змішування.

Після закінчення змішування відповідно до технологічного режиму обертання роторів призупиняється та відкривається нижній розвантажувальний отвір. Знову вмикається обертання роторів та отримана суміш вивантажується й транспортується до наступних машин технологічної лінії.

Ротор базової конструкції у поперечному перерізі з однієї сторони має форму еліпса. Найбільш віддалені від осі точки ротора повинні описувати коло, діаметр якого відповідає конструктивним розмірам камери і є умовним діаметром ротора. Ступінь та характер впливу роторів на суміш залежить від конструкції лопатей. Під час роботи змішувача лопаті роторів підлягають найбільшому зносу. Для підвищення терміну служби на поверхню гребнів по довжині наплавляється шар твердого сплаву товщиною 4-6 мм.

Розвантаження гумової суміші здійснюється через отвір, який розміщений у нижній частині змішувальної камери. Затвор традиційної шиберної конструкції представляє собою дверцята, що приводяться в дію за допомогою гідроциліндра, який складається із станції гідроприводу з насосною установкою газового гідроаккумулятора.

Далі гумова суміш екструдується та набуває потрібної форми, після чого охолоджується та транспортується на подальшу обробку та виготовлення шини. Деякі шари армуються безпосередньо методом екструзії або за допомогою вальців (рис.3.3).

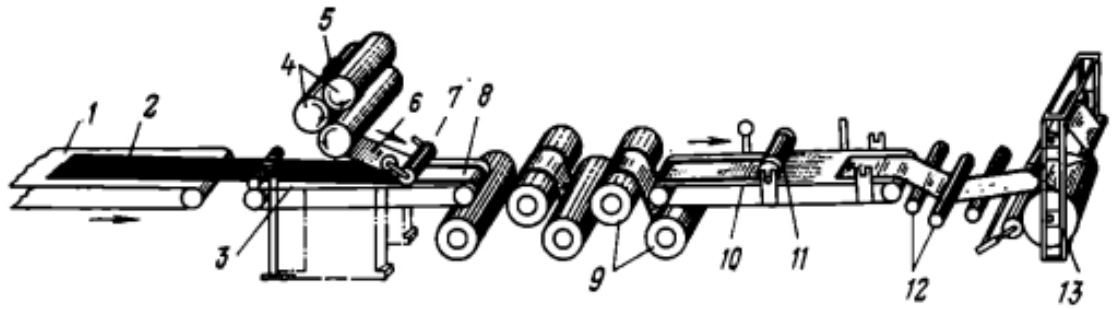


Рис.3.3 Схема накладення гумової стрічки на корд на каландрі:

1 - стикувальний й транспортер; 2 - підготовлений корд; 3 - дублюючий транспортер з центрувальним пристроєм; 4 - тривалковий каландр; 5 - гумова суміш; 6 - прошарок; 7 - дублюючий валик; 8 – корд з резиною ;
9 - охолоджувальні барабани; 10 - приймальний транспортер; 11 - валик;
12 - компенсатор; 13 - каретка.

Згідно рис.3.3, резина просто втискається в корд або ж в армоване полотно. Такі армовані стрічки зазвичай обклеюють додатковими стрічками по боках, так як армована частина може при подальшому формуванні або використанні пошкодити виріб.

Після того, як усі частини готові, їх подають на спеціальний складальний верстат TOPLIT В/С-STB-2P-FT-2228 (рис.3.4), який безпосередньо займається складанням шин. Цей процес - особливий серед основних процесів виробництва шин, тому що є сукупністю механічних операцій подачі і з'єднання деталей.

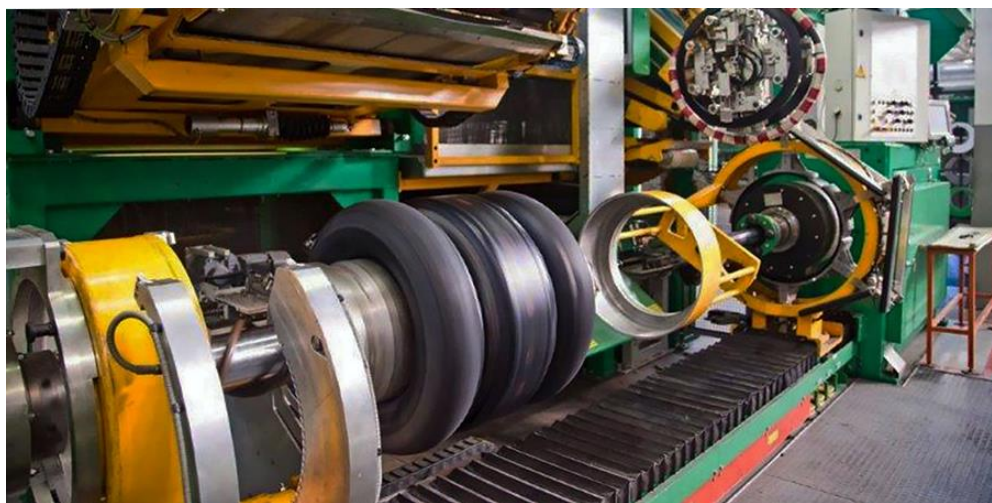


Рис.3.4 Складальний верстат TOPLIT В/С-STB-2P-FT-2228 [11]

Збірку покришок виконують на верстатах, основним робочим органом яких є складальний барабан на якому всі деталі з'єднуються в загальну конструкцію. Залежно від габаритних розмірів і конструкції покришки застосовуються різні методи і способи збирання [12].

Шини збирають на різних верстатах. Одним з найбільш складних етапів є складання шини на спеціальних верстатах, в яких головним робочим органом є складальний барабан. Основна частина будь-якого складального верстата - барабан, конструкція якого визначає особливості складання шин. Існують різноманітні способи складання покришок, тому їх класифікують за конструкцією складальних барабанів, способом накладення шарів, призначенням складальних верстатів. Складальні барабани діляться на два основних види: зі зміною і незміною геометрією і розмірами в процесі складання.

Під час складання шини стрічки резини по чергово подаються на барабан та прижимаються до нього та один до одного. Жорсткий металевий барабан складається з чотирьох або більше секторів, що складаються. Це дозволяє легко знімати зібрану шину.

Верстати для складання покришок класифікують за сукупністю ознак: за типом збирається покришки: діагональна або радіальна; за типом застосовуваного складального барабана (метод складання покришок): плоский, напівплощинний, напівдорновий або дорновий; за способом складання покришок: браслетний, пошаровий і комбінований; по виду збірки радіальних покришок: роздільна і збірна; за способом формування борта: на обертовому і нерухомому барабані; за призначенням покришок: легкова, вантажна, мотоциклетна, сільськогосподарська, спеціальна та інші [12].

Барабани для складання шин об'єднують в дві групи: барабани для складання покришок з діагональним або радіальним розташуванням ниток корду в каркасі. За формою утворення зовнішньої поверхні барабану складальні барабани поділяють на напівплощинні і плоскі, напівдорнові і дорнові. У свою чергу, для складання покришок складальні барабани поділяють на складальні,

розбірні і розтискні; зі змінними і незмінними геометричними розмірами в процесі складання [12].

В лініях з виробництва шин широко використовувалися складальні машини з напівплощинним барабаном (рис.3.5), головною відмінністю якого є те, що його торцева частина має плечики, на яких фіксується крило і здійснюється закладення бортової частини покриття. Зібрана на напівплощинному барабані сира покриття має форму циліндра, краї якого по діаметру менші, ніж середня частина. Для того, щоб зібрану покриття можна було зняти з барабану, передбачено можливість зменшення його ширини по колу. Напівплощинний барабан складається з 6 секторів і механізму для складання і розгортання барабану. Сектори попарно зв'язані між собою, а процеси складання і розгортання відбуваються автоматично. При натисканні гальма за рахунок відцентрових сил сектори повертаються на деякий кут, змушуючи барабан скластися. При включенні верстата барабан починає розгортатися, відцентрова сила змушує сектори барабану повернутися, і він приймає циліндричну форму. До недоліків цього механізму слід віднести те, що після складання барабан приймає еліпсоїдну форму. Це не дозволяє зняти покриття без деякої деформації борту.

На рис. 3.5 представлений жорсткий металевий напівплощинний барабан.

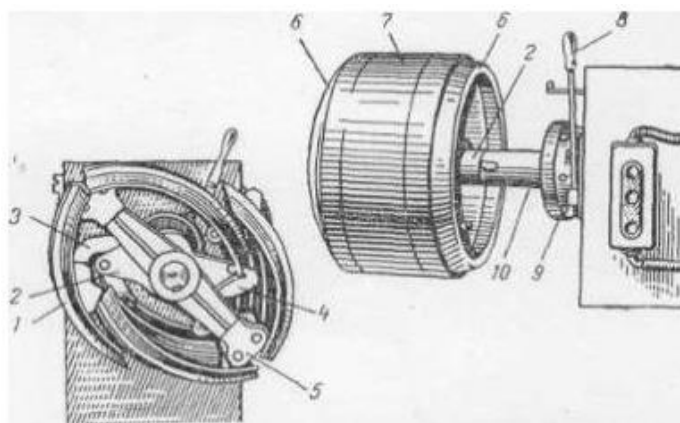


Рис.3.5 Жорсткий металевий напівплощинний барабан верстата для складання покриттів: 1 - сектор барабану; 2 - важільна муфта; 3,4 - важелі; 5 - хрестовина; 6 - плечики; 7 - корона; 8 - рукоятка гальма; 9 - гальмо; 10 - порожнистий вал

Цей недолік призвів до створення секторних барабанів, сектори яких переміщуються в радіальному напрямку за допомогою кільцевих пневматичних циліндрів (рис. 3.6) [14].

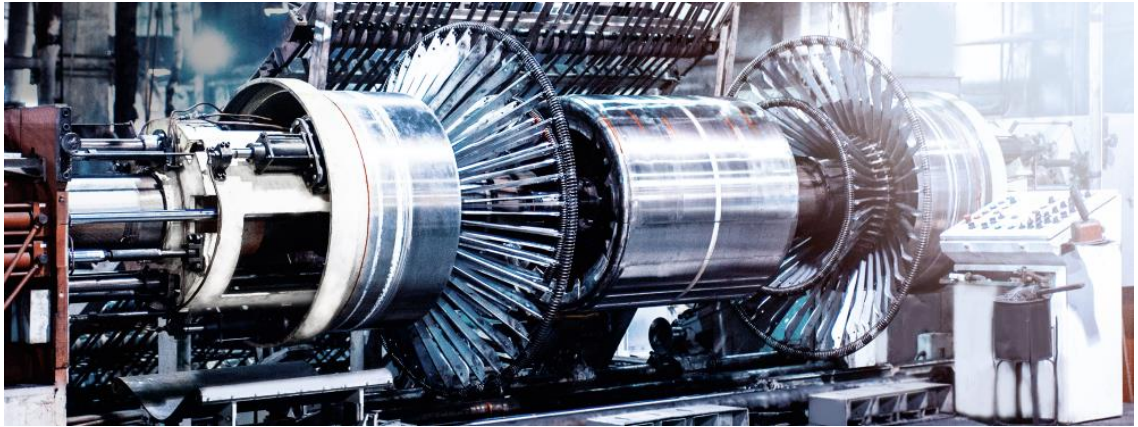


Рис.3.6 Складальний секторний барабан

За способом накладення шарів розрізняють три основні методи збирання: пошаровий, браслетний і комбінований.

При пошаровому способі збирання на складальний барабан накладаються по черзі окремі шари шини (гермошар, шар каркасу, брекери, підкантовочний шар, проміжні шари, протектор і тд.), що подаються з живильника, накладаються та притискаються один до одного. При цьому, забезпечується більш точне центрування шарів і велика однорідність розташування ниток корду в каркасі по всьому периметру покришки. Це дозволяє отримати покришки більш високої якості, що мають на 5-10% більший запас міцності порівняно з покришками, отриманими іншими способами. При цьому, забезпечується рівномірна витяжка в шарах корду в процесі складання, менша деформацію та висока точність накладення шарів корду щодо центральної лінії складального барабана. Це дозволяє зменшити величину дисбалансу шини і тим самим підвищити час її експлуатації.

При браслетному способі складання покришок на складальний барабан надягають готові каркасні і брекерні браслети, які складаються з двох і більше шарів корду. Збірка браслетним способом здійснюється на полудорнових верстатах аналогічно пошаровому, але має ряд особливостей, а саме:

1. Надягання і центрування першого браслета за допомогою пристосувань при складеному барабані. Барабан розширюється до потрібного розміру.

2. Розширювач повертається на 90^0 в позицію надягання браслета. Браслет захоплюється натягуючим механізмом і натягується на складальний барабан.

3. Центрування браслета на барабані проводиться по центральній лінії браслета за допомогою оптичного покажчика при періодичній зупинці механізму надягання.

4. Накочення браслета здійснюється по циліндричній частини складального барабана.

5. Накладення кромek та обтиск їх по плічках виконується вручну.

Браслетний спосіб збирання має ряд істотних недоліків таких як:

- неможливість забезпечення рівномірної витяжки шарів корду по всьому периметру покришки;
- додаткові деформації при транспортуванні браслетів, що призводять до місцевого розрядженню ниток корду;
- необхідність знімання виготовлених браслетів з верстата і їх транспортування на ділянку складання; не виключається ймовірність при їх транспортуванні потрапляння сторонніх включень, що знижують якість готових виробів.

В даній роботі розглядається складальна машина з комбінованим способом складання. Цей спосіб передбачає те, що перші шари корду в вигляді браслетів надягають на складений барабан, а наступні шари каркаса і брекера окремими смугами накладають на барабан, як при пошаровому способі .

З переходом шинної промисловості на виробництво покришок радіальної конструкції, що мають підвищену жорсткість і малу розтяжність брекерного пояса, показало необхідність в введенні в технологічний процес складання нової операції - формування каркаса до накладення брекерного поясу. В зв'язку

з цим з'явилась необхідність в зміні конструкції складального барабана, а саме зміні його конфігурації з циліндричної на тороподібну.

Відомі два основних принципи побудови процесу двох стадійної збірки: поєднана збірка на одному складальному барабані і роздільна - на двох і більше складальних барабанах, що встановлені на різних верстатах або в одному агрегаті.

На лінії, що розглядається в цій роботі використовується роздільне збирання. Воно дає можливість розосередження механізмів, що виконують переходи і операції технологічного процесу складання, систем живлення верстатів кордом та іншими деталями покришки. Залежно від кількості застосовуваних барабанів, верстати для роздільного збирання покришок радіальної конструкції можуть бути дво- і трипозиційним. В даній роботі розглядається складальна машина з двома барабанами.

Перед встановленням протектора на частину поверхні стрічки наносять гранули абразиву, або спеціальний клей для підвищення якості спаювання, склеювання різних частин шини. При цьому, матеріал наноситися підчас самого складання.

Після цього шину вулканізують в мембранних вулканізаторах. Конструкції форматорів-вулканізаторів типу бег-о-матік 55" відрізняються різноманітністю механізмів завантаження покришок. На складальному кресленні (рис.3.7) наведений форматор-вулканізатор 55" з прийомом сирих покришок з транспортної системи, розташованої поряд з форматором-вулканізатором. Механізм форматора-вулканізатора складається зі станини 1, закріплених на поворотному валу , що приводиться в рух гідроциліндром 2 через рейку 7 і шестерню 11. Для роботи форматора-вулканізатора з таким механізмом завантаження потрібно встановити транспортер-живильник, який одночасно виконує роль проміжного складу для зберігання сирих покришок. Механізм завантаження приймає заготовки покришок знизу із захопленням покришки за борт в розпір та встановлює їх в форматор-вулканізатор.

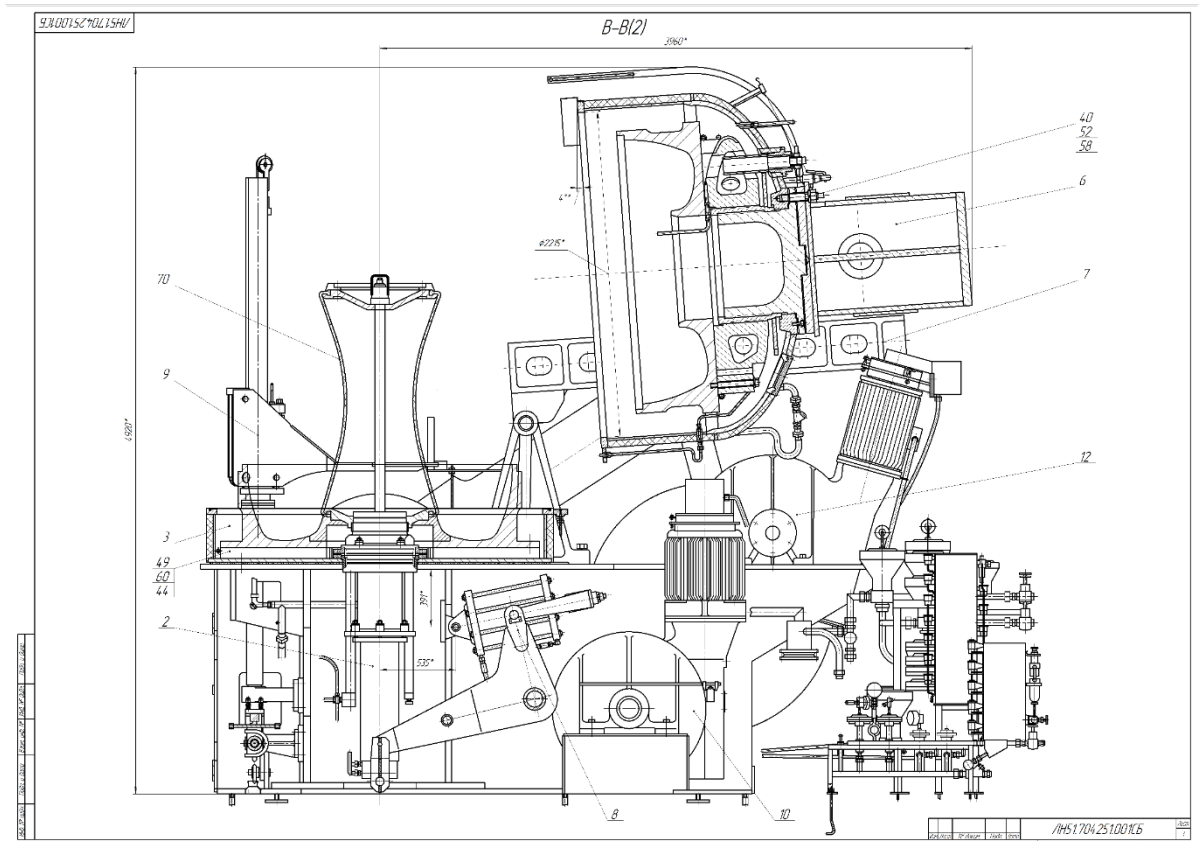


Рис.3.7 Форматор –вулканізатор 55”

Траверсу 6 роблять литою конструкцією. Шафа електроприладів схеми встановлена окремо поблизу машини в місці, зручному для управління і спостереження за станом покриттів під час формування. У такому разі вона служить як пульт управління. Для обігрівання покриттів ззовні застосовується камерний спосіб в парових камерах.

Гідравлічний циліндр 8 механізму вивантаження вулканізованих покриттів прикріплений до балки стягуючої щок станини 1. Редуктор приводу 11 знаходиться на рамі, пов'язаний із станиною.

Для зменшення швидкості опускання траверси під час формування покриттів в привід вбудована додаткова відкрита зубчаста пара з шестерні 13 і колеса 12.

Механізм відриву покриттів 9 від нижніх півформ приводиться в дію одним гідроциліндром діаметром 200 мм, розташованим уздовж поперечної осі станини. Схема роботи форматора-вулканізатора типу бег-о-матік наведена на рис. 3.8.

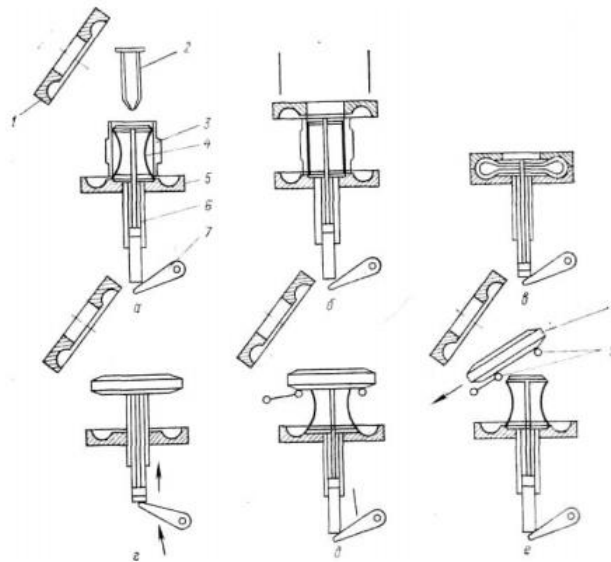


Рисунок 3.8. - Принцип роботи форматора-вulkanізатора типу бег-о-матік:
 а - початкове положення; б - початок формування; в - кінець формування і початок вулканізації; г - розкриття парової камери і підйом покришки;
 д - знімання покришки з діафрагми; е - видалення покришки; 1- верхня півформа; 2 - завантажувач; 3 - заготівка; 4 - діафрагма; 5 - нижня півформа;
 6 - циліндр; 7 - важіль; 8 - покришка; 9 - рольганг.

У початковому положенні (рис. 3.8,а) діафрагма 4 розтягнута між верхнім і нижнім дисками. Сира покришка 3 скидається завантажувачем 2 на діафрагму і потрапляє нижнім торцем на півформу 5. При цьому, верхня півформа 1 піднята під кутом до нижньої півформи. Далі півформа 1 переміщається вниз і закриває півформу 5 з одночасним подаванням пари під тиском 0,2-0,5 МПа в діафрагму. Під час зближення дисків відбувається розтягання обичайки діафрагми, яка формує покришку (рис. 3.8, б). Потім йде витримка покришки на вулканізацію при подачі перегрітої води в діафрагму (рис. 3.8, в). Після закінчення вулканізації півформа 1 відводиться, розкриваючи порожнину форми, а важіль 7 піднімає покришку (рис. 3.8, г). Подаючи у порожнину діафрагми вакуум, діафрагму повертають в початкове положення (рис. 3.8, д), а покришка 8 скидається на приймальний рольганг (рис.3.8, е).

4. Літературний та патентний огляд

Для вирішення питання, пов'язаного з покращенням технічних та експлуатаційних характеристик шин, модифікованих вуглецевими нанотрубками (ВНТ), в даній роботі виконано технічно-літературний огляд. В результаті аналізу технічно-літературного огляду слід відмітити, що роботи, які присвячені темі наномодифікації полімерних та еластомерних композицій, виконуються в наступних напрямках:

- дослідження технічних характеристик еластомерів, модифікованих сумішшю вуглецевих нанотрубок (ВНТ) і нановолокон;
- аналізу характеристик еластомерів, модифікованих багатостінними (багато шаровими) вуглецевими нанотрубками (БВНТ);
- дослідження властивостей поверхні полімерів, модифікованих наноматеріалами;
- аналізу досліджень механічних характеристик гумотехнічних наномодифікованих виробів.

Так у статі [13] встановлено, що застосування вуглецевих нанотрубок впливає на в'язкість по Муні та кінетику вулканізації, прискорюючи або сповільнюючи процес формування поперечних зв'язків.

Стаття [14] присвячена дослідженню ефекту впливу багатостінних вуглецевих нанотрубок на характеристики каучуків на основі бутадієн-нітрилу. Як наповнювач автори статті використовують технічний вуглець, а в якості модифікатора використовуються ВНТ. Введення ВНТ в полімерну матрицю здійснено на високошвидкісному змішувачі з подальшою гомогенізацією на роторній триколісній машині. Для максимально можливого ступеня дисперсії наноструктур використовується метод ультразвукової обробки, який призводить до активізації поверхні вуглецевих нанотрубок. Перед оцінкою властивостей міцності отриманої композиції, автори статті обробляли її в вулканізаційному пресі. Дослідження фізико-механічних

характеристик армованої гуми проводились для сумішей з різним вмістом нанотрубок. Результати цих експериментів наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Фізико-механічні характеристики вулканізованого наномодифікованого каучуку [14]

Specifications	Modified rubber by CNT			
	1	2	3	Δ , %
Concentration CNT, wt. %	0	0,5	1,0	
Conditional tensile strength, MPa	9,02	104	102	14
Elongation at break, %	142	185	208	38
Wear ability, cm ³ /Wh	255	105	96	58
Erase, J/ mm ³	144	391	361	165
Aging at 100 °C, 24 h, %	15	4,1	8,1	27

Термічну стійкість отриманих нанокомпозицій автори статті визначали методом термогравіметричного аналізу на дериватографі в динамічному режимі. Авторами статті показано підвищення термостійкості наномодифікованого каучуку та збільшення технічних характеристик гумової суміші, які сприяють збільшенню терміну служби гумових виробів.

У статті [15] досліджується зміна поверхні полімерів при модифікації вуглецевими нанотрубками. Для того щоб відділити різні частинки наноматеріалу один від одного їх змішали з водою і в досліді використовували тільки наноматеріал, який осів і утворив плівку. Для дослідження був використаний композит з різним вмістом наноматеріалу. Використовуючи метод ротаційної віскозиметрії зразок матеріалу піддали круговому зміщенню з постійною швидкістю в тонкому кільцевому шарі для визначення в'язкості по Муні. Отримані результати вказані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

В'язкість наномодифікованих гумових сумішей по Муні

Дозування наноматеріала, мас. ч. на 100 мас. ч. каучуку	В'язкість по Муні гумових сумішей, ум. од. Муні	
	з осадом	з плівкою
—	7,0	7,0

0,05	8,6	10,1
0,1	12,9	15,2
0,2	14,9	13,9
0,3	11,5	14,0

Внаслідок проведених експериментів автори статті встановили, що вуглецевий наноматеріал, що піддався ультразвуковій обробці і розділений за складом, по-різному впливає на зміну технологічних і технічних властивостей еластомерних композицій. Використання плівки і залишку ВНТ в полімерній матриці призводить до підвищення в'язкості по Муні гумових сумішей та незначного збільшення оптимального часу вулканізації. Введення досліджуваних нанодобавок в певних дозах сприяє поліпшенню фізико-механічних показників вулканізації. В той же час, авторами встановлено, що застосування тільки залишку вуглецевих полімерних матриць дозволяє підвищити опір стирання гум.

Стаття [16] присвячена дослідженню механічних характеристик синтетичного каучуку (рис.4.1), який наповнений багатошаровими вуглецевими нанотрубками (БВНТ) (рис.4.2).

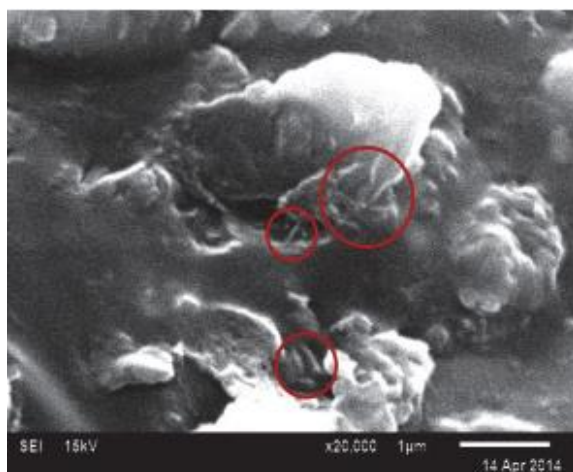


Рис. 4.1 Синтетичний каучук наповнений БВНТ

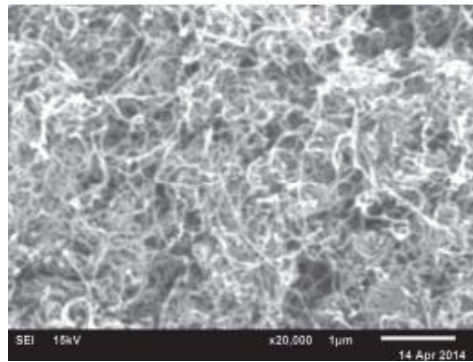


Рис. 4.2 Зображення БВНТ, отримане за допомогою растрового електронного мікроскопа

Для вивчення механічних характеристик синтетичного каучуку автори статті провели експерименти, стосовно порівняння механічних властивостей чистого каучуку і каучуку, наповненого нанотрубками.

Також автори статті приділили увагу питанню стосовно дослідження механізмів руйнування наномодифікованих каучуків (рис.4.3).

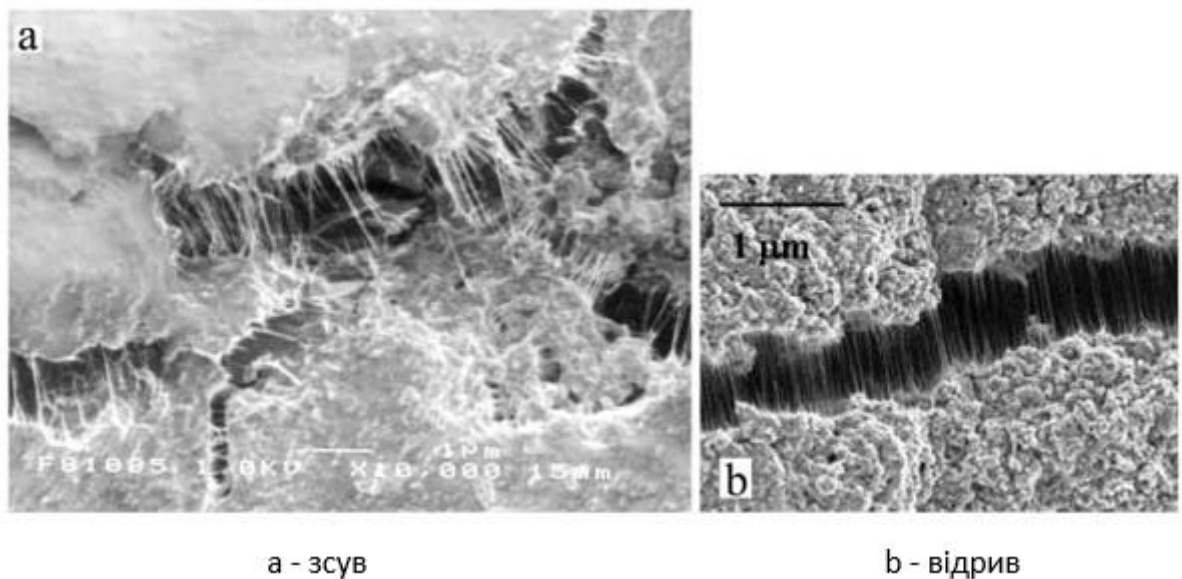


Рис.4.3 Руйнування наномодифікованих каучуків

Авторами статті за даними досліджень визначено, що додавання БВНТ в кількості 4% збільшує модуль пружності, жорсткість матеріалу, його еластичне відновлення.

У статі [17] досліджується пошук можливостей застосування найбільш простого і інформативного методу оцінки та прогнозування властивостей модифікованих полімерів в області високих концентрацій суміші фулеренів.

В результаті дослідження автори встановили, що застосування методу відриву кільця (Дюну) дозволяє в найкоротші терміни оцінити вид взаємодії для системи «полімер-фулерени», вибрати необхідний інтервал «Робочих» концентрацій і, таким чином, спрогнозувати поведінку сумішей каучуку при модифікації наноматеріалами, не застосовуючи інших трудомістких методик.

У статті [18] досліджується вплив нанотрубок, які вводились в каучукову суміш, на процес вулканізації. Для дослідження автори статті вхідний матеріал розділили ультразвуковою обробкою на три фракції:

- «суспензія» - окремі вуглецеві нанотрубки;
- «осад» - сплетіння вуглецевих нанотрубок і волокон;
- «плівка» - відносно великі частки графіту і аморфного вуглецю, відносно великі сплетення трубок і волокон.

Структуру матеріалу до і після розділення, автори статті отримали на просвічуваному електронному мікроскопі (ПЕМ) (рис.4.4-4.7) [18].

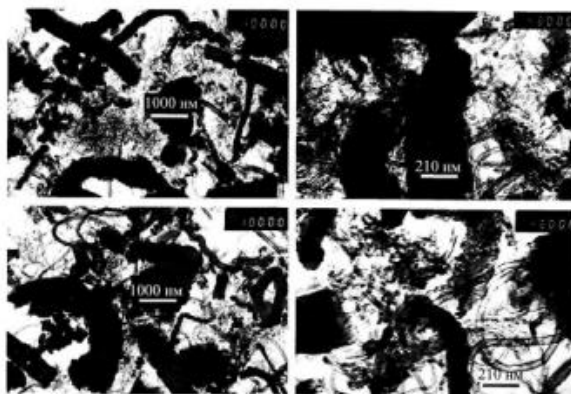


Рис. 4.4 ПЕМ - фотографії вихідного матеріалу [18]

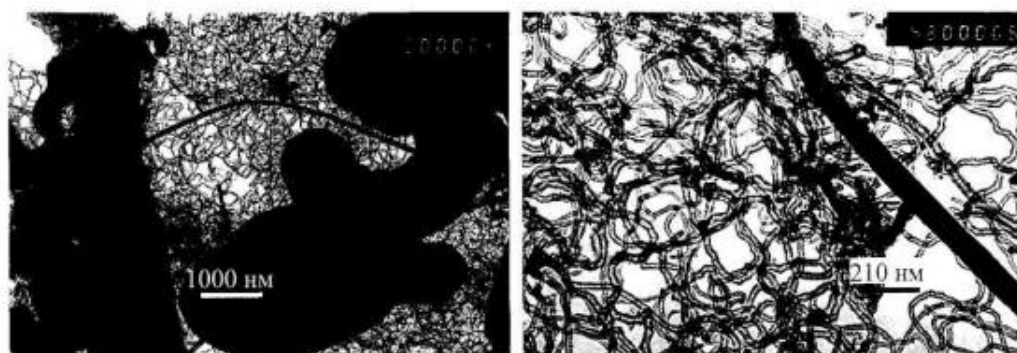


Рис. 4.5 Електронні ПЕМ - фотографії зразків плівки [18]

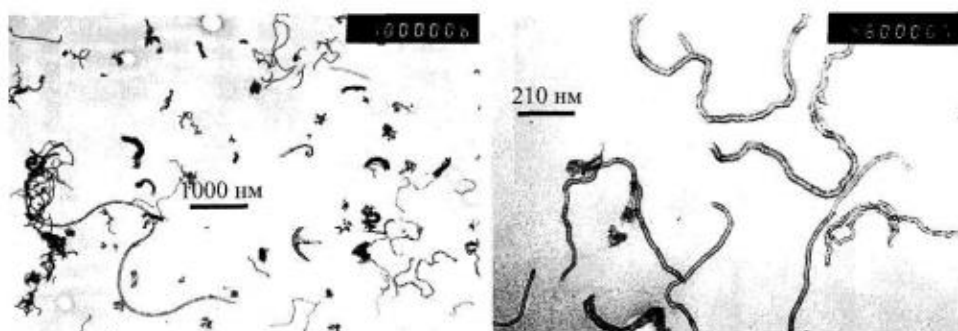


Рис. 4.6 Електронні ПЕМ - фотографії зразків суспензії [18]



Рис. 4.7 Електронні ПЕМ - фотографії зразків осаду [18]

З метою визначення ступеню зміни фізико-механічних показників гум від впливу температури автори статті провели випробування стосовно визначення умов міцності при розтягуванні і відносному подовженні при розриві. Теплове старіння проводили в термошафі протягом 120 год. при температурі 120 ° С.

В результаті досліджень автори статті виявили, що структура фракцій вуглецевого наноматеріалу впливає на характеристики міцності еластомерних композицій. При цьому спостерігається деяке зниження умовної міцності при розтягуванні. Однак, дослідження теплостійкості і втомної витривалості гум

показали, що введення вуглецевих наноматеріалів різної структури в певному дозуванні дозволяє отримувати вулканізат з високою стійкістю до впливу температури і багаторазовим циклічним деформаціям, а по відносному подовженню при розриві вище в 1,1-1,27 рази по відношенню до ненаномодікованої гуми.

Після аналізу джерел, присвячених темі наномодифікації полімерних, еластомерних та гумових композицій, слід відмітити те, що наномодифікація є ефективним способом покращення технічно-експлантаційних характеристик гумових виробів в тому числі.

5. Вибір модернізації

На сьогоднішній день вже відомі технології наномодифікації каучуків та еластомерів, які дозволяють покращити технічно-експлуатаційні характеристики виробів з цих сучасних матеріалів. Автомобільні шини є досить поширеним товаром, а покращення їх характеристик дозволяє позитивно впливати як на їхню довговічність, так і на ціну.

Згідно з даними наукових джерел [12-18,30-33], наномодифікація шин призводить до підвищення механічних характеристик шин та забезпечення кращого зчеплення їх поверхні з поверхнею дорожнього покриття. Також наномодифіковані шини мають підвищені характеристики міцності, за рахунок кращого теплообміну вони менше розігріваються. Крім того, в модифікованих наноматеріалами каучуку збільшується тріщиностійкість, що забезпечує кращий зв'язок між шарами різних матеріалів. Всі ці фактори призводять до того, що наномодифіковані шини мають більший термін експлуатації.

Однак, як показали дослідження [30-33], повна модифікація шини призводить до збільшення її вартості більш ніж на 10% від загальної собівартості не наномодифікованої шини.

В зв'язку з цим, метою даної роботи є розробка ефективного способу локальної наномодифікації шин, який дозволить знизити вартість виробництва шин при збереженні їх техніко-експлуатаційних характеристик.

Основна модернізація полягає в тому, що процес наномодифікації виконується не для всієї гуми шини, а лише для деяких її частин, а саме протектора та клею який наноситься між шаром протектора та основою шини.

Також в роботі за мету поставлено проведення модернізації лінії з виготовлення автомобільних шин з урахуванням способу адаптивної наномодифікації. Для цього в лінії по виробництву шин передбачені машини, які будуть забезпечувати якісну наномодифікацію гумової суміші.

Як відомо, ультразвукова обробка [19] розсіює багато різних наноармуючих матеріалів для поліпшення модуля, міцності на розтягування та

стомлювальних властивостей гумових композитів. Оскільки розмір частинок, форма, площа поверхні та поверхнева активність наповнювачів та арматурних добавок мають велике значення для підвищення характеристик міцності наномодифікованих матеріалів, застосування потужних та надійних ультразвукових диспергаторів забезпечує якісне внесення наночастинок в гумові суміші. Так як ультразвук утворює кавітаційний ефект, який не тільки рівномірно розподіляє наноматеріал в емульсії, а також розбиває агломерати, які утворюються, то використання ультразвукової технології забезпечує якісне розподілення наноматеріалу по гумі. Тому, процес отримання емульсії з нанотрубками до подачі її в гумозмішувач доцільно виконувати з використанням ультразвукового диспергатора, а для забезпечення якісного розподілу наноматеріалу в гумовій суміші потрібно використовувати високошвидкісний роторний гумозмішувач.

6. Охорона праці

Основне завдання техніки безпеки – попередження нещасних випадків на виробництві. На підприємствах постійно проводяться заходи, що забезпечують безпеку праці працюючих [9].

Небезпека для життя й здоров'я робітників полягає в неправильній експлуатації машин і механізмів, апаратів, що працюють під тиском, а також при обігріві паром, перегрітою водою, електричним струмом і ін. Щоб попередити нещасні випадки, всі види машин і устаткування оснащують аварійними вимикачами для моментального зупинення частин, що рухаються. Робітники повинні знати місце знаходження аварійних вимикачів і вміти ними користуватися.

Перед пуском верстата та при прийманні зміни необхідно перевірити справність аварійного вимикача шляхом пробного пуску встаткування. Про пуск складних агрегатів - вальців, каландрів і інших машин – варто попереджати, подаючи звукову сигналізацію.

Забороняється працювати на несправному устаткуванні або при знятому огороженні частин, що рухаються. При виявленні несправності в роботі машини її варто негайно зупинити.

Під час роботи забороняється: чистити, забирати й ремонтувати машини, верстати й апарати; залишати ввімкнене устаткування без нагляду; передоручати робоче місце іншому робітникові без дозволу майстра; обпіратися на машини й механізми навіть після їхньої зупинки; стороннім особам перебувати поблизу працюючих машин; стояти під висячим вантажем.

При роботі не можна проливати клей і бензин. Пролитий клей варто негайно забрати, а місце, де він був пролитий, засипати піском. У неробочий час допоміжні ємності з гумовим клеєм і бензином повинні бути закриті.

У процесі виготовлення шин на стадіях виробництва виділяються пил, пари й гази, що шкідливо діють на організм людини. Наявність великої

кількості пилу й постійне його вдихання може привести до важких хронічних захворювань горла, бронхів та легень.

Наприклад, технічний вуглець при вмісті більше 10 мг/м³ повітря викликає захворювання шкіри, сірка - головні болі, альтакс - катаральне запалення трахеї та легень. Особливо небезпечної є пил каптакса, альтакса, тіураму, неозонну Д, альдоля, нітролу й антиоксидантів.

Для зменшення утворення пилу технічний вуглець, прискорювачі й інші матеріали застосовують у вигляді гранул.

У процесі зборки шин використовують бензин, клей та інші шкідливі речовини. Бензин діє на нервову систему людини. У процесі вулканізації шин утвориться парогазова суміш, що містить стирол, бутадієн, масляний альдегід, формальдегід, метиловий спирт, аміак, сірчисті з'єднання й ін. Вулканізаційні гази призводять до порушення нервової системи, захворювання органів травлення, зниження гемоглобіну в крові. Для зниження виділення шкідливих пар і газів застосовується більше зроблене встаткування, що забезпечує герметичність процесу. Для користування бензином застосовують герметичні банки із клапанами або щільними кришками. Розчинники також містяться в герметичних ємностях.

З метою вловлювання пилу у витяжній вентиляції встановлюють касетні фільтри, а також використовують пилогазоочисні установки. Уловлювання пилу на установках здійснюється у два щаблі: на першому щаблі – у циклонах змінного перетину, на другому – у рукавних фільтрах. Викид газів в атмосферу виробляється через високі вентиляційні труби. Для попередження забруднення атмосферного повітря від пилу технічного вуглецю й інших інгредієнтів у підготовчих цехах є спеціальні установки, називані економами-фільтрами. Вони збирають пил інгредієнтів, відсмоктуючи його з нещільностей гумозмішувача, ваг, бункерів і повертають у змішувальну камеру. Це дозволяє заощаджувати дорогі матеріали.

Для вловлювання парів бензину при їх концентрації у повітрі до 2 г/м³ на всіх шинних заводах повинні застосовуватися рекупераційні установки. Суміш

парів бензину з повітрям за допомогою вибухобезпечного вентилятора подається в адсорбер, заповнений активованим вугіллям. При цьому вугілля поглинає бензин, а очищене повітря виходить в атмосферу. Потім виробляється десорбція бензину пором, що подається в адсорбер. Суміш парів бензину перетворюється в рідину в конденсаторі. Далі в розділовій колоні бензин відділяється від води й подається на виробництво.

Очищенню повітря сприяє також посадка дерев і кущів на території підприємств і в захисній зоні.

Стічні води підприємств шинної промисловості містять технічний вуглець, тальк, дрібні частки гуми, тканини, масла, а також органічні речовини, що перебувають у розчиненому або колоїдному стані. Їх очищають на спорудженнях біохімічного очищення разом з побутовими стоками населених пунктів.

Для підготовки до біохімічного очищення різних по складу стічних вод доцільно використовувати наступні методи: відстоювання реагенту, коагуляцію зі застосуванням сульфату алюмінію й перевелися, електрокоагуляцію. Опади, що утворюються в результаті очищення промислових стоків рекомендується збезводнювати за допомогою фільтр-преса й складувати в екрановану ємність шлаконакопичувача.

Після механічного очищення стічні води скидають на поля випару й зрошення або подають для повторного використання.

Удосконалювання системи водопостачання й каналізації шляхом широкого впровадження оборотного використання води, застосування апаратів повітряного охолодження, повторного використання очищених стічних вод у технічному водопостачанні дозволяє скоротити споживання свіжої води.

Таблиця 6.1

Основні джерела забруднюючих речовин, які поступають в атмосферу
при виробництві шин

Джерело забруднення	Забруднююча речовина
Автокамерний цех	Пил сухих інгредієнтів, вуглеводні, сірчистий ангідрид, пил технічного вуглецю (сажа)
Камерна ділянка	Пил тальку, вуглеводні, сірчистий ангідрид, аміносполуки
Ділянка виготовлення протекторів	Пари бензину, вуглеводні, пил гуми, ксилол, етилбензол
Заготовча ділянка	Вуглеводні, бензин, пари бензину.
Каландрова ділянка	Окис вуглецю, двоокис азоту, вуглеводні, аміак, формальдегід
Цех вулканізації	Вуглеводні, сірчистий ангідрид
Підготовчий цех	Пари бензину, вуглеводні, пил гуми, ксилол, етилбензол
Ділянка переробки відходів	Окис вуглецю, вуглеводні, пил гуми
Шиноремонтний цех	Пари бензину, вуглеводні, пил гуми, сірчистий ангідрид
Парова котельня	Окис вуглецю, двоокис азоту, сірчистий ангідрид
Котельня теплофікації	Окис вуглецю, двоокис азоту

7. Дослідження механічних властивостей автомобільних шин і модернізація лінії для їх виробництва

7.1. Вибір методу дослідження та опис програмного забезпечення

Для дослідження характеристик шин вибрано метод скінчених елементів (МСЕ). Перевагами МСЕ відносно інших чисельних методів є:

- можливість поєднання декількох матеріалів, що є суттєвим при визначенні напружено-деформованого стану фізичного тіла, що складається з декількох різних матеріалів;
- великі можливості дискретизації скінчено-елементної сітки;
- простий і природний опис граничних умов різного роду;
- можливість встановлювати для кожної дискретної області (скінченого елемента) своїх законів, що описують зв'язок сил і переміщень у вузлах, дозволяючи поєднувати в рамках однієї сітки області скінчених елементів різних типів (оболонкових і тривимірних, сингулярних ізопараметричних і так далі), що, в свою чергу, підвищує ефективність методу в цілому.

Багато сучасних МСЕ-пакетів включають спеціальні елементи, які призначені для вирішення задач механіки деформівного твердого тіла, задач термопружності та теплопровідності, електромагнетизму і тп.

На даний момент є багато систем які використовують МСЕ для побудови та розрахунку різних конструкції (MARK (США), ASKA (ФРН), NORSAM (Норвегія), NASTRAN (США), APROKS (Україна, КПІ), ANSYS (США), ABAQUS (США)).

Для досягнення поставлених в роботі цілей дослідження механічних властивостей наномодифікованих автомобільних шин було вибрано:

1. Систему Abaqus (студентська версія) [20] для дослідження загального напружено деформованого стану шини з урахуванням наномодифікованих клейового шару та протектора автомобільної шини;

2. Програмний комплекс APROKS [4] для моделювання процесів нелінійного деформування та руйнування композиції «нанотрубка-гума».

7.2. Математична модель отримання параметрів тріщиностійкості системи «нанотрубка-каучук»

Оцінка врахування підвищення параметрів міцності наномодифікованих елементів шини (протектор, клей) при виконанні даної роботи здійснювалася шляхом чисельного моделювання процесу витягування нанотрубки із масиву каучуку для отримання даних по додатковій енергії, необхідній для виконання процесу витягування.

Для цього використовувалась тришарова модель – «нанотрубка – полімерна молекула – масив каучуку». В системі Aproks створено параметризовану скінчено-елементну модель ВНТ з полімерною молекулою і ковалентними зв'язками яка зображена на рис.7.2.1.

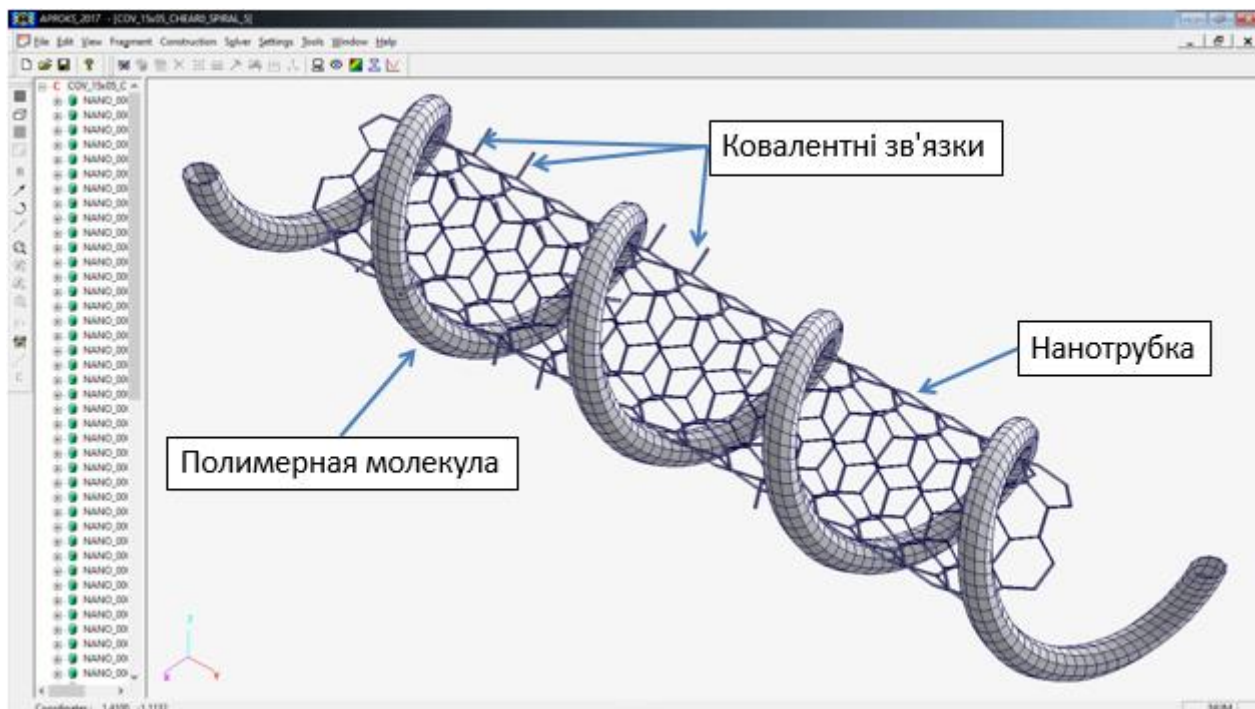


Рис.7.2.1. Скінчено-елементна модель нанотрубки з полімерною молекулою в системі Aproks

Крім цього, в системі Aproxs в рамках даної роботи згенеровано скінчено-елементну модель взаємодії контакту нанотрубки з масивом каучуку. Модель побудована на базі тривимірних восьмивузлових скінчених елементів із стандартної бібліотеки системи Aproxs. Скінчено-елементна модель взаємодії системи «нанотрубка – полімерна молекула – масив каучуку» представлена на рис.7.2.2.

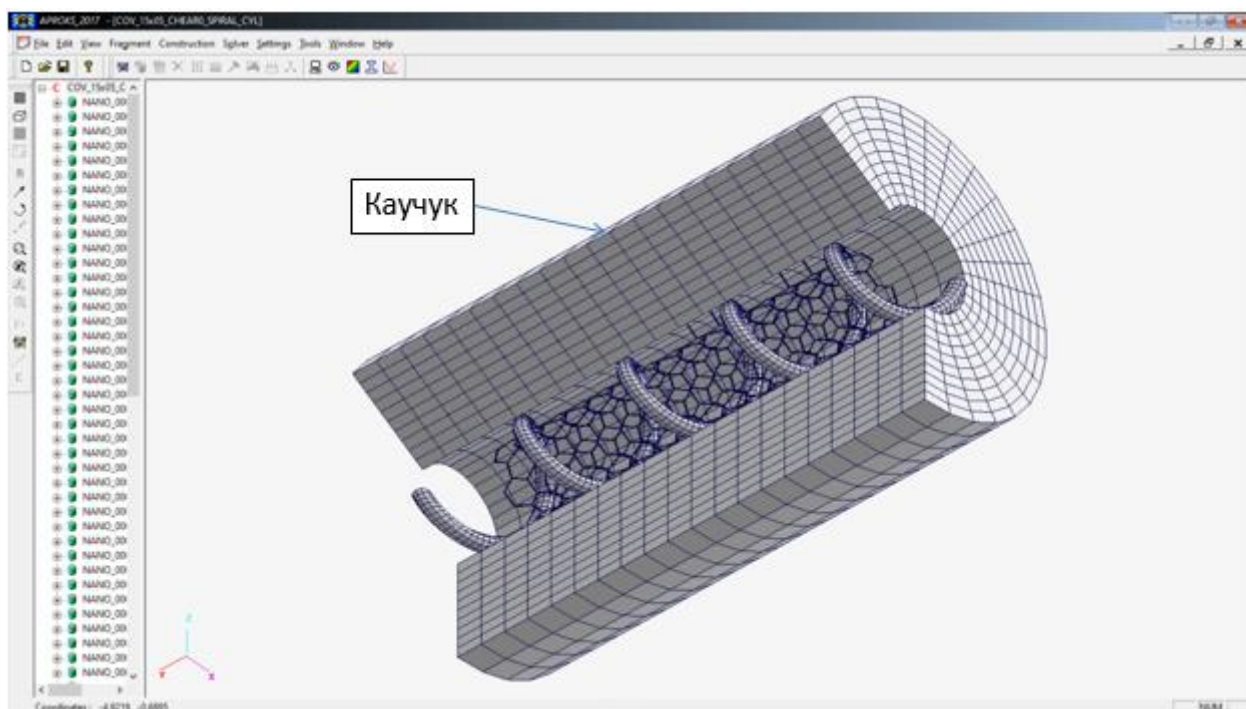


Рис.7.2.2. Скінчено-елементна модель системи «нанотрубка – полімерна молекула – масив каучуку» в системі Aproxs

Моделювання процесу витягування ВНТ з каучуку в системі Aproxs проводилося на базі покрокового методу Ньютона-Канторовича з урахуванням усіх видів нелінійностей, таких як фізична та геометрична нелінійності, накопичення і розповсюдження пошкоджень. Чисельна стабільність даного алгоритму забезпечується прикладенням вимушених зміщень до торця нанотрубки. Розглядається 1/8 частина системи «нанотрубка – полімерна молекула – масив каучуку» із збереженням усіх граничних умов рис.7.2.3.

Фізико-механічні характеристики елементів розрахункової схеми наступні:

- Нанотрубка – модуль пружності $E=1$ ТПа, коефіцієнт Пуасона $\nu=0,3$;
- Гума – модуль пружності $E=56$ МПа, коефіцієнт Пуасона $\nu=0,4$, межа міцності при відриві $[\sigma_{\text{відриву}}]=90$ МПа, межа міцності при зсуві $[\sigma_{\text{зсув}}]=60$ МПа.
- Шар контакту нанотрубки з гумою – модуль пружності $E=56$ МПа, коефіцієнт Пуасона $\nu=0,4$, межа міцності при відриві $[\sigma_{\text{відриву}}]=90$ МПа, межа міцності при зсуві $[\sigma_{\text{зсув}}]=60$ МПа.

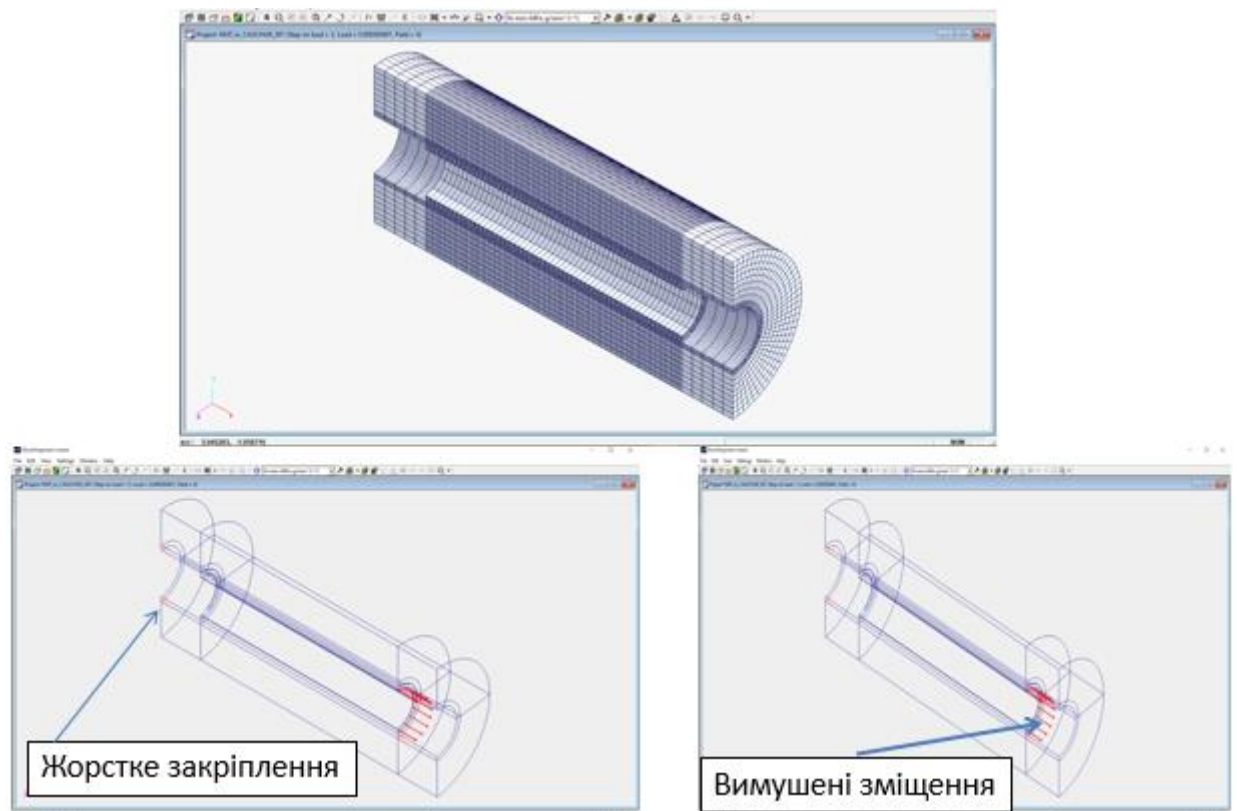


Рис.7.2.3 Скінчено-елементна модель та розрахункова схема нанотрубки в елементі каучуку

7.3. Визначення параметрів тріщиностійкості наноармованої гуми

В результаті розрахунку витягування ВНТ з каучуку встановлено, що цей процес проходить в чотири етапи. На першому етапі (рис.7.3.1) з'являється локальна зона відшарування нанотрубки від масиву гуми. В результаті перерозподілу напружень після виникнення зони розшарування проходить поступове зменшення ковалентного взаємодії (рис.7.3.2). Третім етапом є прогресуюче відшарування нанотрубки від гуми (рис.7.3.3). В подальшому на рівні середини нанотрубки проходить розрив гумової молекули і починається руйнування на лівому торці нанотрубки (рис.7.3.4). В результаті цього контакт нанотрубки з гумовим масивом повністю зникає про що свідчить різке падіння параметра реакції «R» на рис.7.3.5.

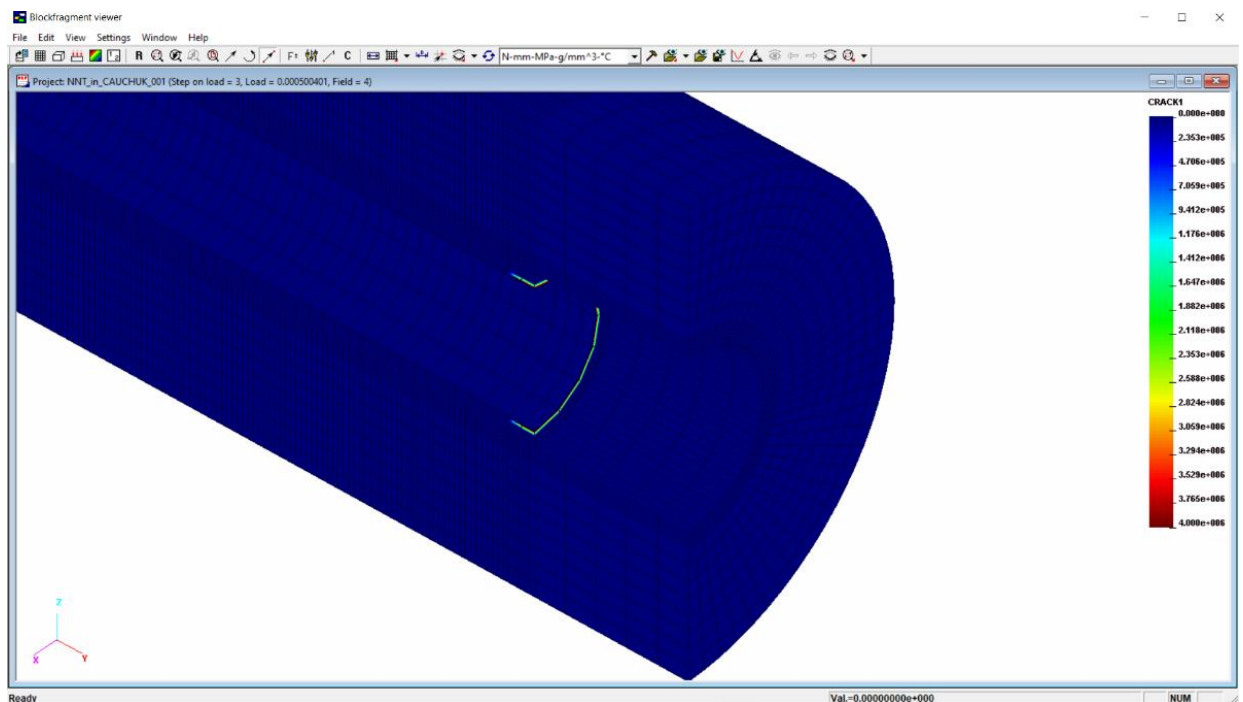


Рис.7.3.1 Початок зародження зони руйнування

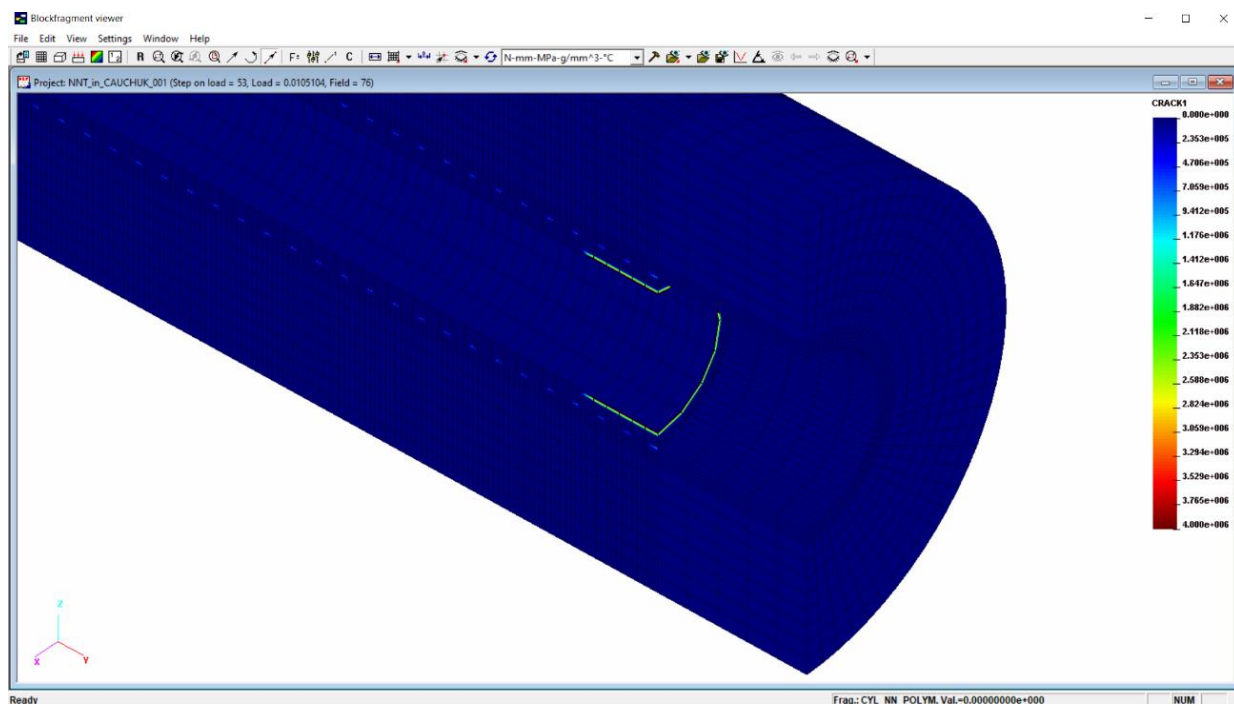


Рис.7.3.2 Руйнування ковалентних зв'язків

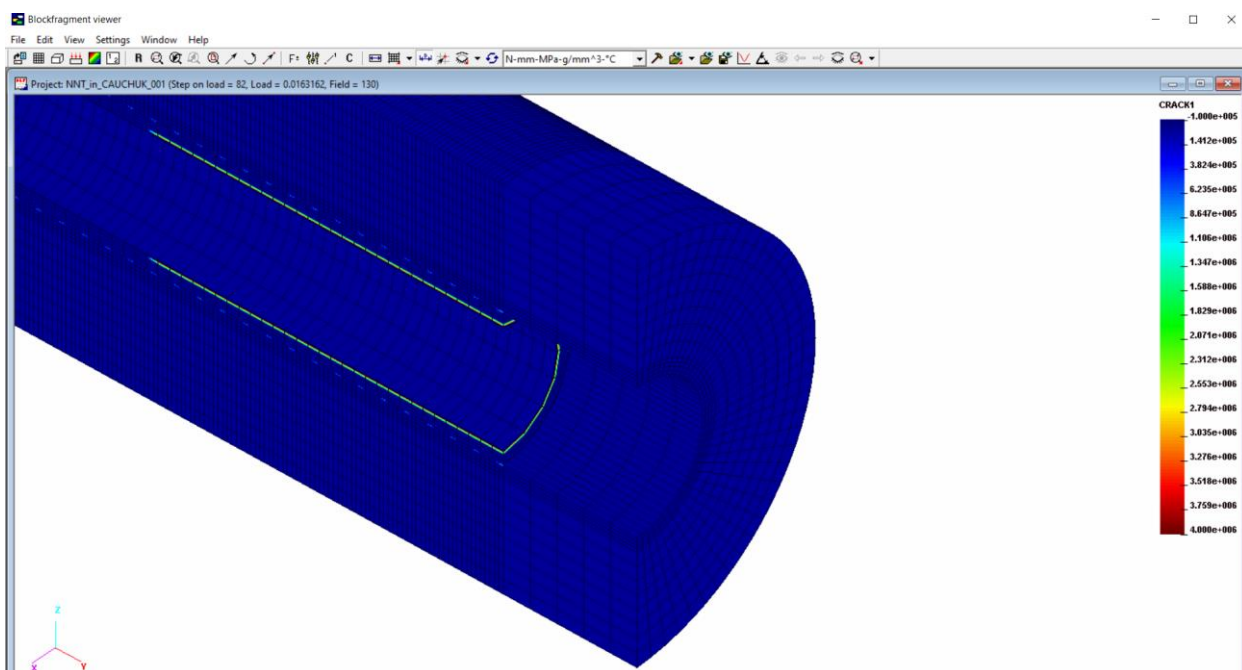


Рис.7.3.3 Розповсюдження зони відшарування нанотрубки від масиву каучука

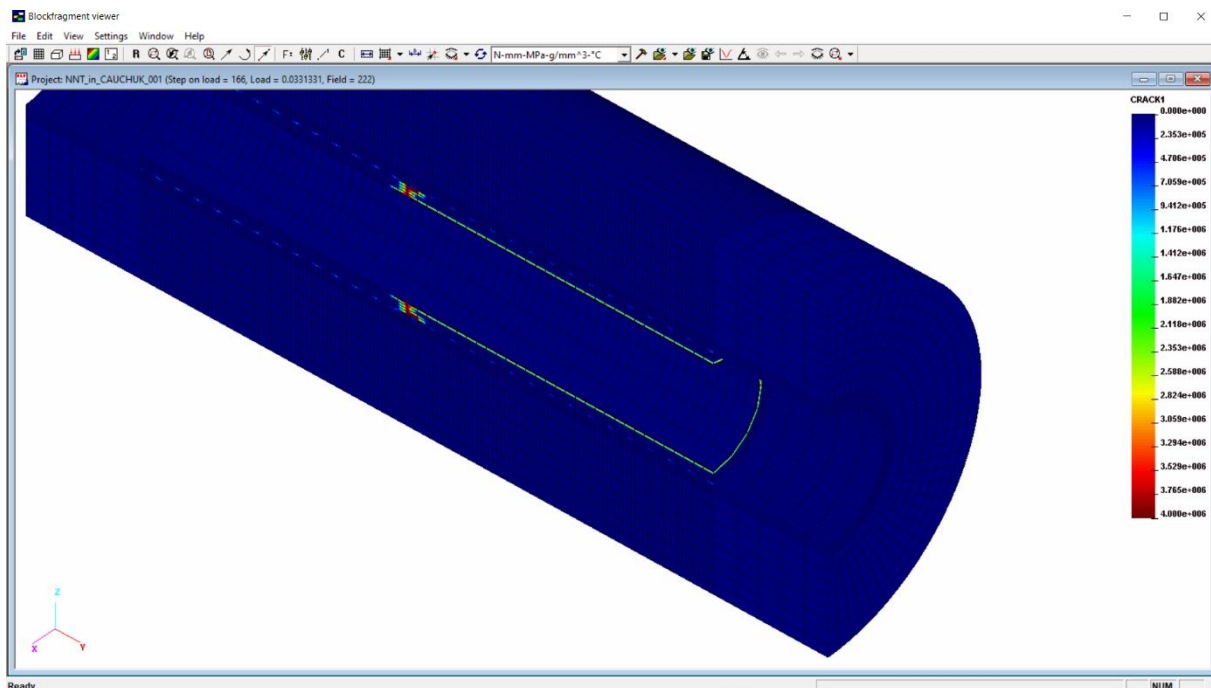


Рис.7.3.4 Руйнування гумової молекули

Після проведення серії чисельних експериментів для різних коефіцієнтів армування масиву гуми в даній роботі отримано графіки залежності сумарної реакції, що виникає на торці нанотрубки до якого прикладені вимушені зміщення в залежності від рівня вимушених зміщень (рис.7.3.5).

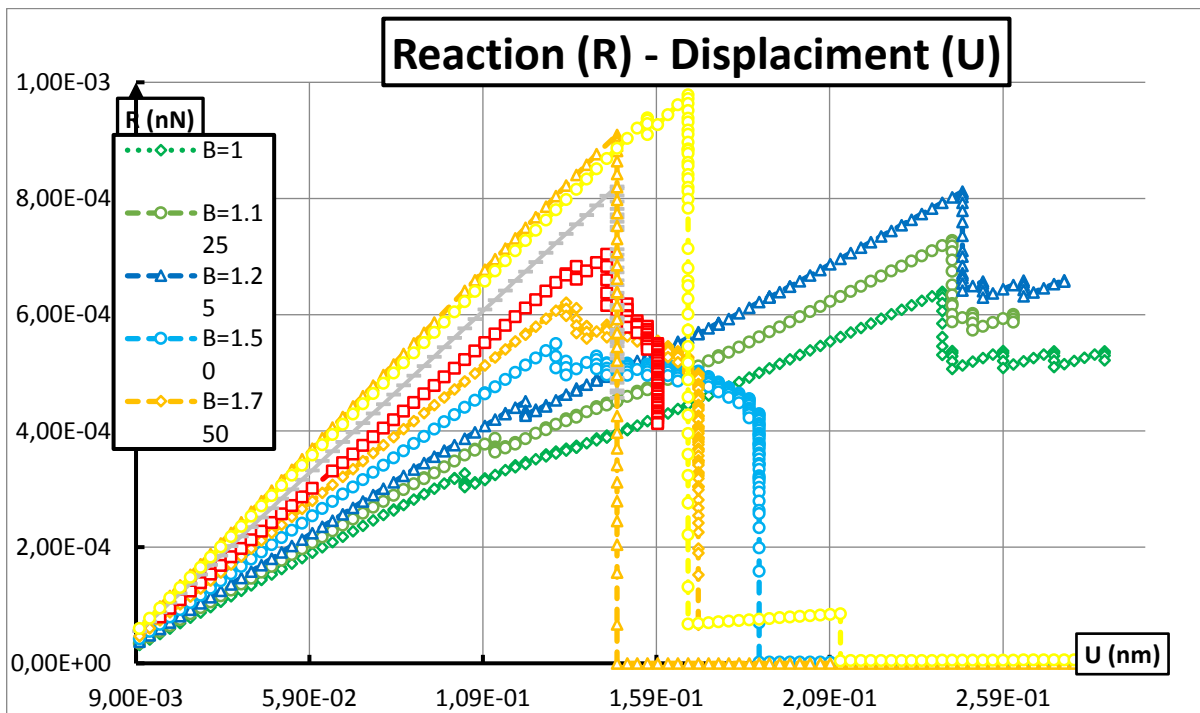


Рис.7.3.5 Графік залежності сумарної реакції «R»
від вимушених зміщень «U»

Аналізуючи максимальні значення графіків «R-U» приведених на рис.7.3.5, в даній роботі побудовано графік залежності межі міцності композита «нанотрубка-гума» в залежності від коефіцієнта армування (рис.7.3.6).

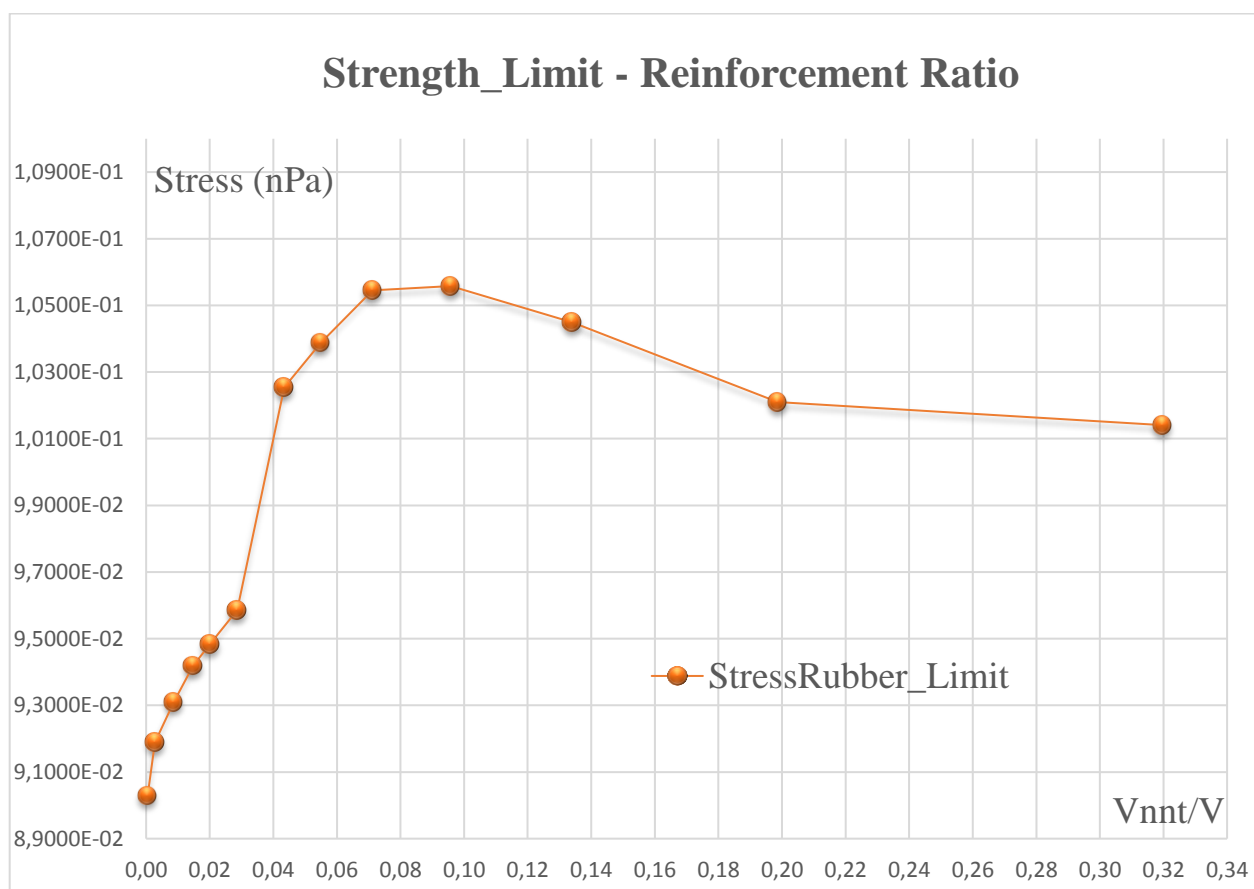


Рис.7.3.6 Графік залежності межі міцності наноармованої гуми від коефіцієнта армування (V_{nnt} – об’єм нанотрубки, V – загальний об’єм композиції)

Аналіз графіка (рис.7.3.6) показав, що максимальна міцність наномодифікованої гуми досягається при коефіцієнті армування $V_{nnt}/V=0,875\%$.

Для виявлення ефекту армування побудовано графік залежності процентного співвідношення меж міцності наномодифікованої та не наномодифікованої гуми в залежності від коефіцієнту армування (рис.7.3.7).

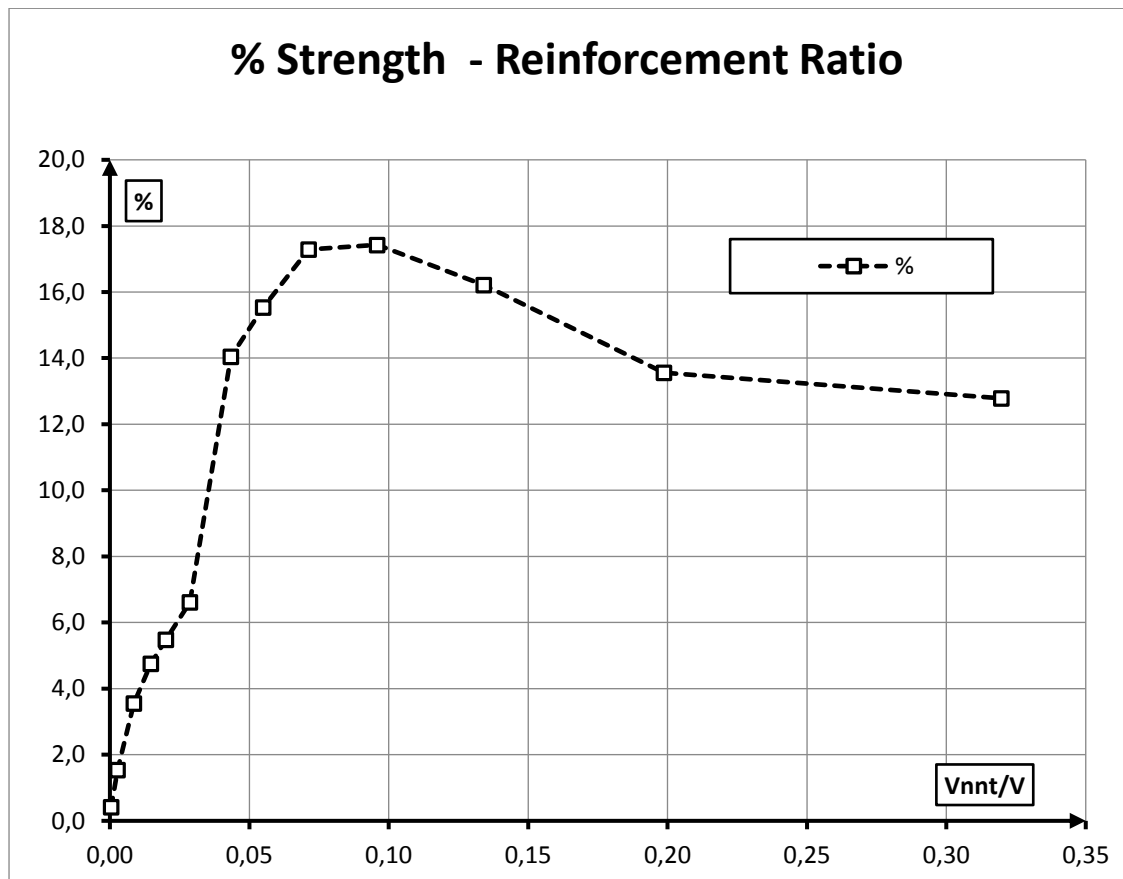


Рис.7.3.7 Графік ефективності процесу наномодифікації

Аналіз цього графіка показує, що для коефіцієнта армування 0,875% співвідношення межі міцності армованого і не армованого матеріалу найвищі і складають 18%. Отриманий результат дозволяє впевнено стверджувати, що процес наномодифікації являється надійним інструментом підвищення параметрів міцності і тріщиностійкості гумових виробів представниками яких є і автомобільні шини.

7.4. Аналіз міцності та надійності типової автомобільної шини

Результати розрахунку, які приведені в попередньому підрозділі 7.3 цієї роботи, використані для оцінки параметрів міцності та надійності автомобільної шини.

Для аналізу напружено деформованого стану автомобільної шини з урахуванням наномодифікованого протектора та клейового з'єднання між

протектором і основою шини в цій роботі розроблено скінчено елементну модель типової шини легкового автомобіля.

В системі Catia розроблено 3D модель типової шини. Також, для коректного моделювання граничних умов контакту між дорожнім полотном та протектором шини, розроблена 3D модель опорної плити (рис.7.4.1). Модель складається з 4 частин: внутрішня частина шини 1, протектор 2, плита 3 клейовий шар 4 товщиною 0,1мм . Плита дотична до зовнішньої частини шини.

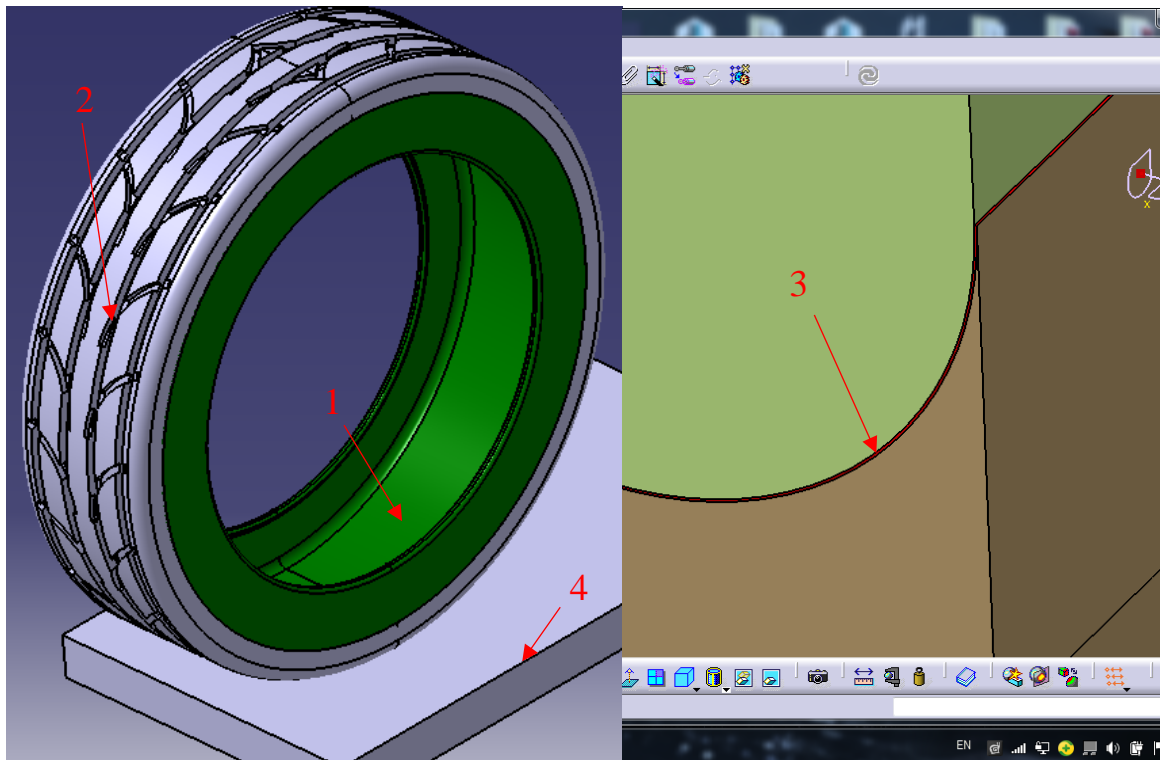


Рис.7.4 .1 3D модель типової автомобільної шини

Фізико-механічні характеристики гуми були вибрані відповідно до інформації, приведеної в роботах [14,16,21] та створено відповідні матеріали в системі Abaqus. Фізико-механічні характеристики для кожного матеріалу вибрані наступні:

- Наномодифікований протектор - модуль пружності $E=56\text{МПа}$; коефіцієнт Пуасона $\nu = 0.4$;
- Наномодифікований клей - модуль пружності $E=0,1\text{МПа}$; коефіцієнт Пуасона $\nu = 0.4$;

- Армowana частина шини - модуль пружності $E=500\text{МПа}$; коефіцієнт Пуасона $\nu = 0.4$;
- Опірна плита - модуль пружності $E=1 \cdot 10^4\text{МПа}$; коефіцієнт Пуасона $\nu = 0$;

Зразок внесення фізико-механічних характеристик матеріалу в систему Abaqus приведено на рис.7.4.2.

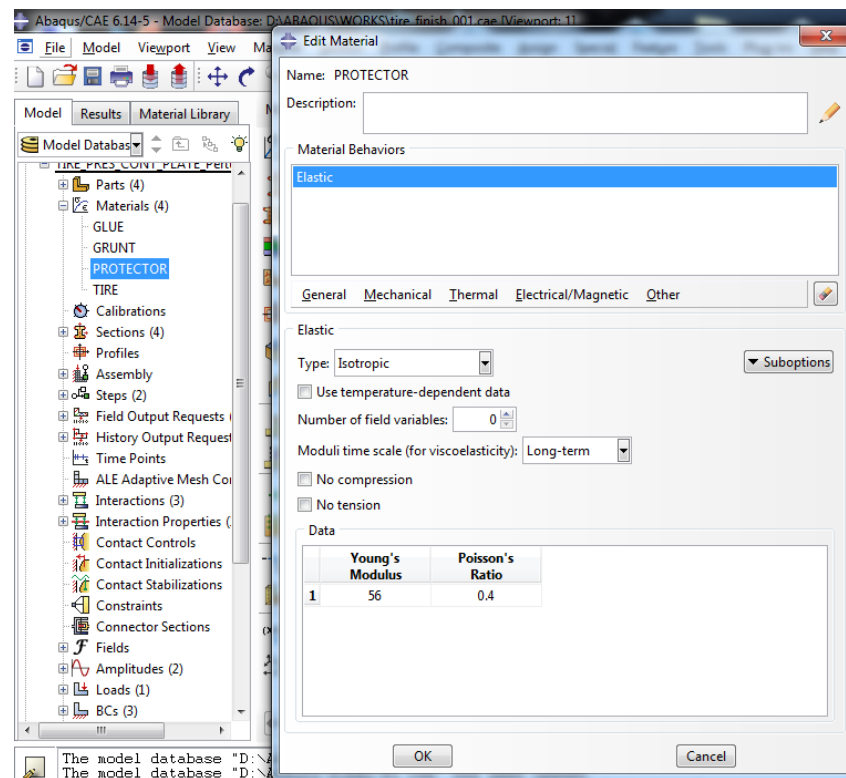


Рис.7.4.2 Фізико-механічні характеристики протектора в системі Abaqus

Для коректного моделювання контактної взаємодії між плитою і протектором, протектором і клеєм, клеєм і шиною в системі Abaqus задано контакт згідно з меню, приведені на рис.7.4.3.

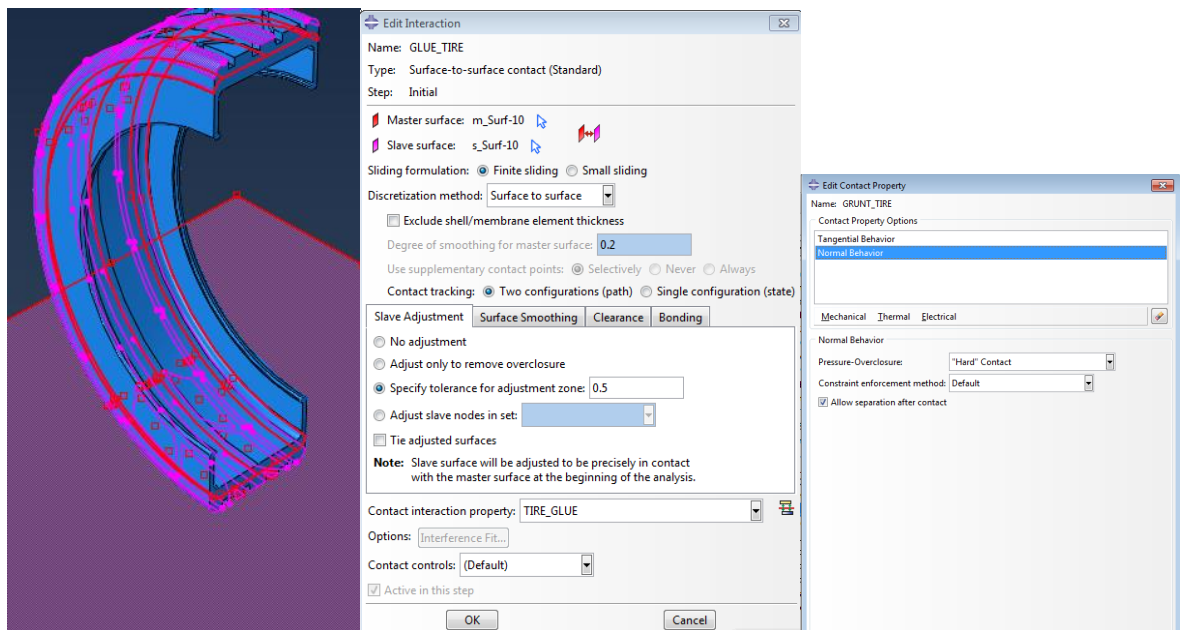


Рис.7.4.3 Приклад вихідних даних умов контакту між частинами шини

Умови навантаження шини відповідають умовам її нормальної експлуатації при яких внутрішній тиск всередині шини складає 2 атм, що відповідає 0,2 МПа (рис.7.4.4).

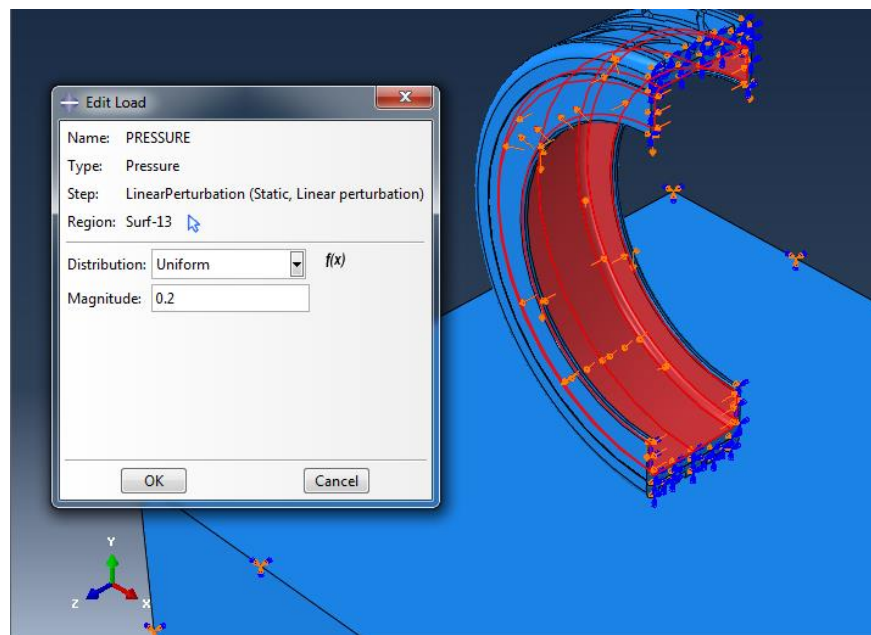


Рис.7.4.4. Умови навантаження шини від внутрішнього тиску в системі Abaqus

Імітацію активного навантаження шини досліджено при умовах вимушених зміщень. Вимушені зміщення прикладені по границі контакту шини

з диском колеса. Абсолютне значення вектору вимушених переміщень по глобальній осі Y дорівнює 10мм. Схему прикладення вимушених зміщень в системі Abaqus приведено на рис.7.4.5.

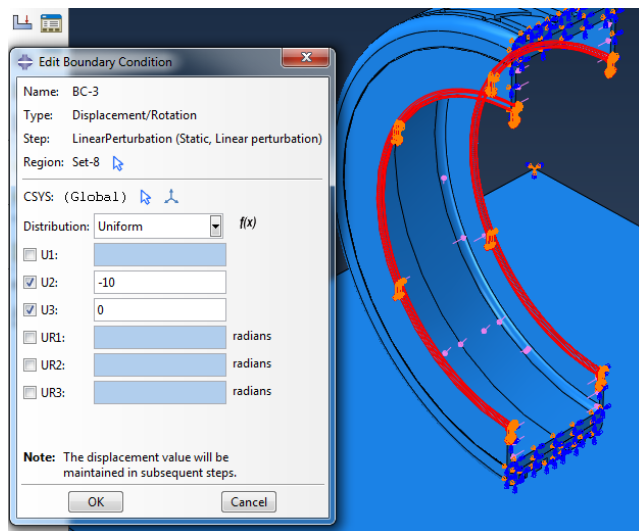


Рис. 7.4.5. Схема прикладення вимушених зміщень в системі Abaqus

Відповідно до умов навантаження в якості розрахункової моделі шини вибрана її половина з відповідними граничними умовами, приведеними на рис.7.4.6.

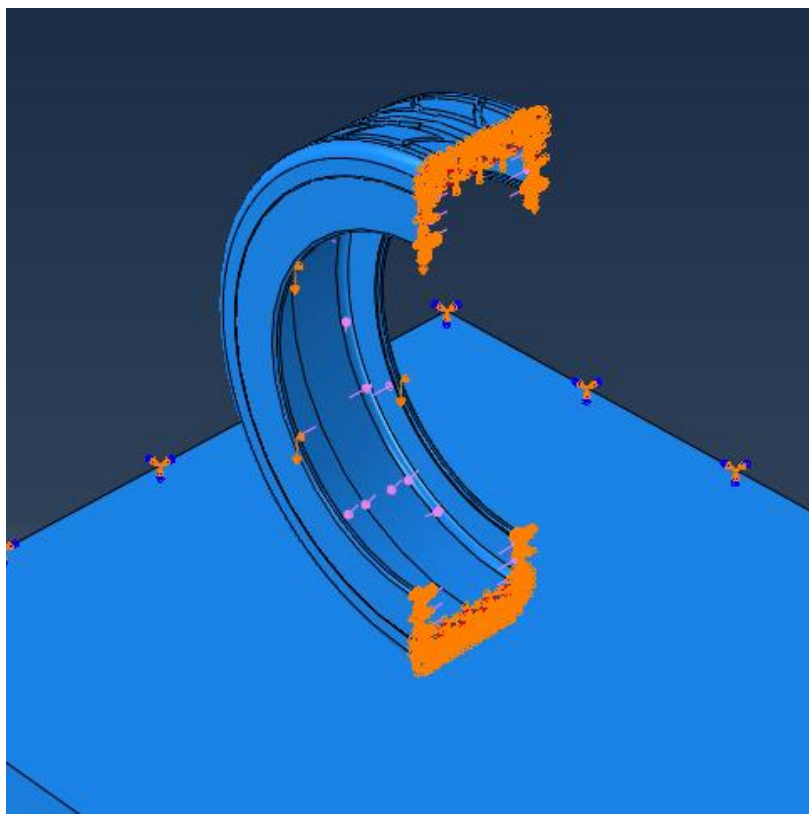


Рис.7.4.6. Граничні умови розрахункової схеми шини

Дискретно-елементну модель шини отримано на основі скінченних елементів C3D8 та C3D4 із стандартної бібліотеки системи Abaqus (рис.7.4.7).

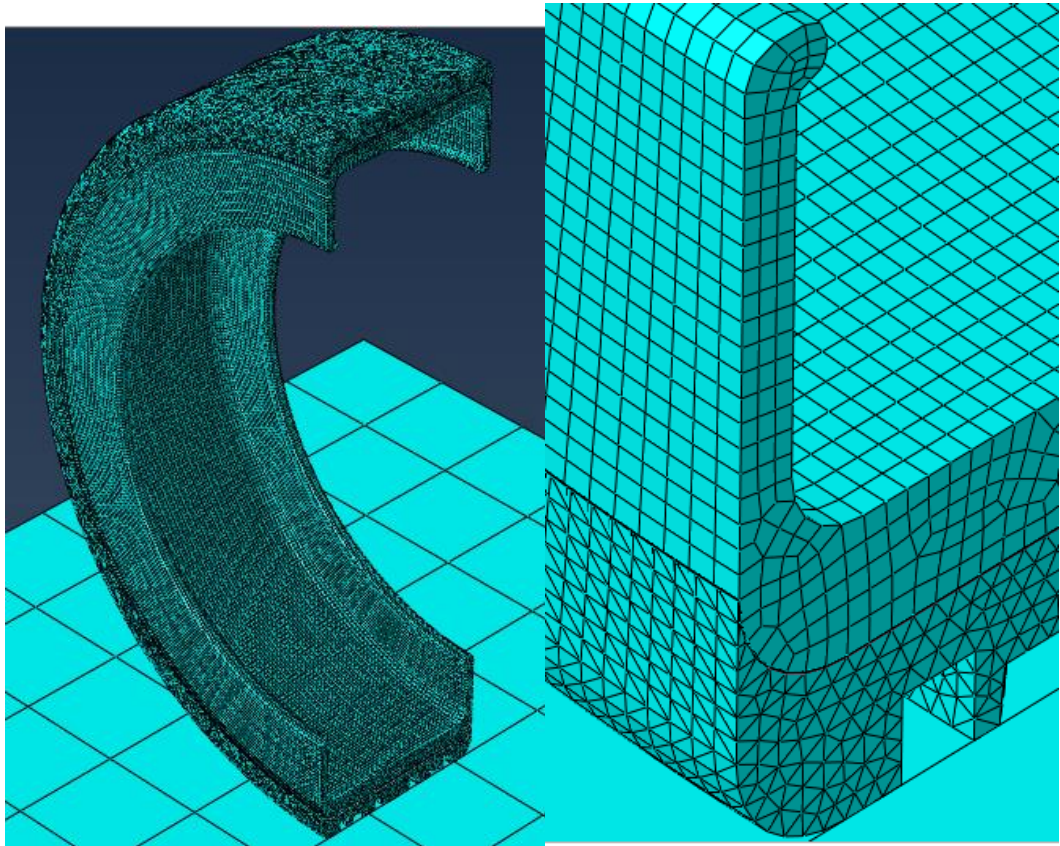


Рис.7.4.7. Скінчено-елементна модель шини в системі Abaqus

В результаті розрахунку моделі типової шини в системі Abaqus з відповідними граничними умовами та умовами навантаження отримано розподіл еквівалентних напружень за Мізесом, який показав, що найбільші напруження виникають в місцях деформації боковини та бортової зони (рис.7.4.8, рис.7.4.9).

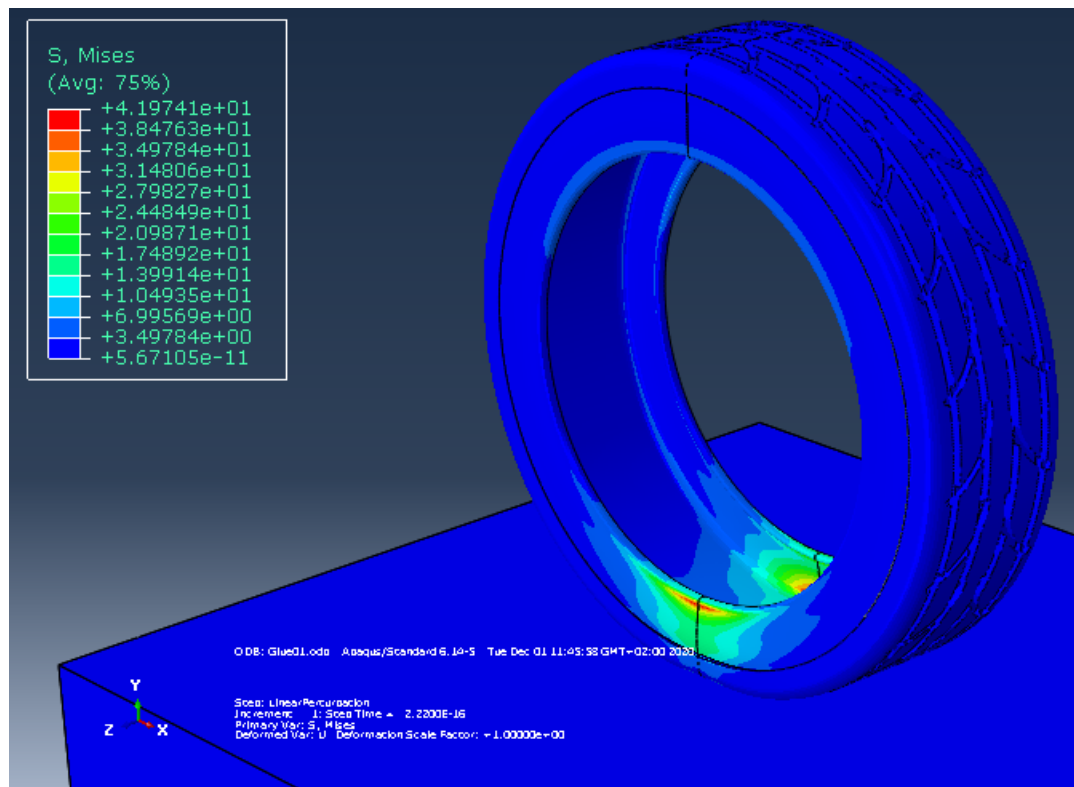


Рис.7.4.8 Еквівалентні напруження за Мізесом, МПа

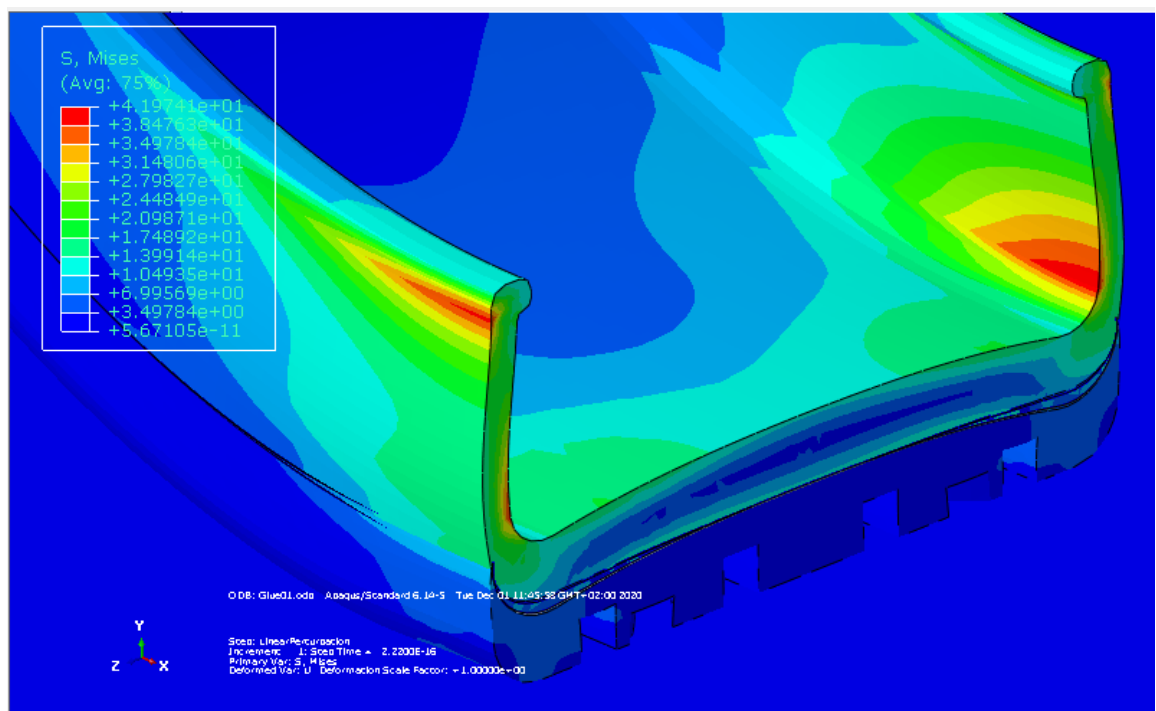
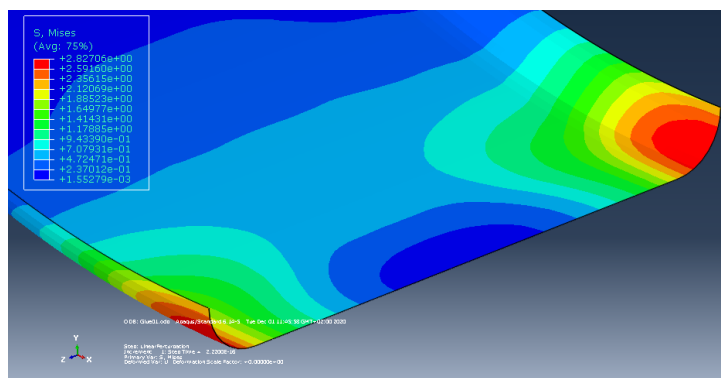


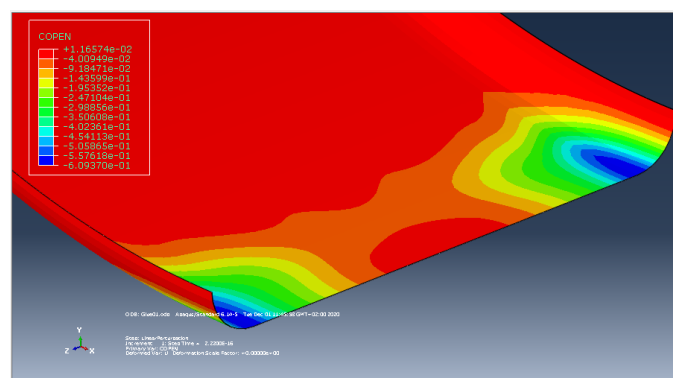
Рис.7.4.9 Еквівалентні напруження за Мізесом, МПа

На рисунку 7.4.9 видно, що процес відшарування протектора від основи шини починається на краях протекторах в місцях з'єднання його з основою шини. В цих місцях спостерігається максимальна інтенсивність деформації

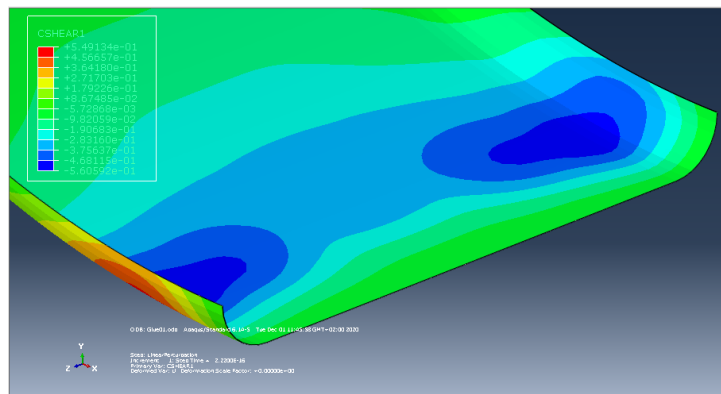
клеювого шару від дії вимушених зміщень. Про це свідчать муарові картини розподілу деформацій в клеювому шарі, приведені на Рис.7.4.10.



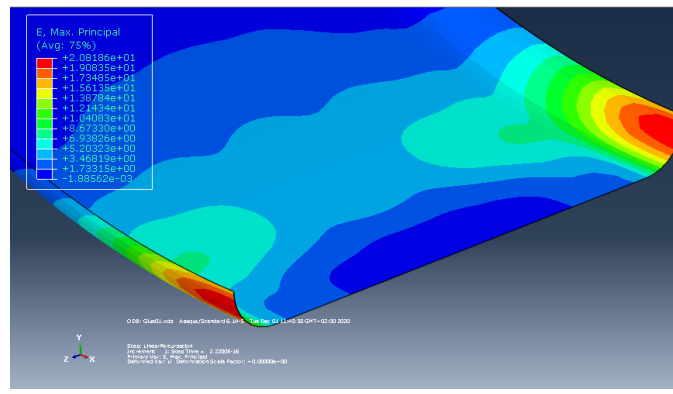
Еквівалентні напруження за Мізесом, МПа



Деформація відшарування при відриві, %



Деформація відшарування при зсуві, %



Максимальні головні деформації, %

Рис.7.4.10 Напруження та деформації що виникають в шарі клею

8. Аналіз достовірності отриманих результатів

Достовірність отриманих результатів по визначенню міцності наномодифікованої гуми в даній роботі встановлена шляхом порівняння результатів численних експериментів з результатами натурних експериментів. В статі [14] наведені експериментальні дані залежності межі міцності на розтягнення наномодифікованої гуми від коефіцієнту армування 0%, 0,5% та 1;0%. її вуглецевими нанотрубками, відповідно (табл. 4.1).

Перерахунок масової концентрації в об'ємну концентрацію проводиться за наступним алгоритмом:

1. Для визначення маси нанотрубки визначається кількість атомів з яких вона складається. В даному випадку (рис. 8.1, рис. 8.2) нанотрубка (5х30наносот) складається з 610 молекул вуглецю.

2. Оскільки геометрія наносоти являє собою правильний шестикутник, утворений гранями з довжиною 142 пм [26], визначаєм геометричні параметри нанотрубки:

- довжина кола нанотрубки:

$$L=142*15=2130\text{пм};$$

– радіус:

$$R=2130/(2*\pi)=339 \text{ пм};$$

– діаметр:

$$D=339*2=678\text{пм};$$

- довжина нанотрубки:

$$H = 142 * 30 * \sqrt{3} = 7378.53\text{пм}.$$

3. Кількість нанотрубок в умовному кубі з довжиною сторони 7500пм $\approx H$ визначаємо як:

$$H/\underline{D}=7500/678=11,06 \approx 11 \text{ нанотрубок},$$

тобто

$$K_{\text{mnt}}=11*11=121 -$$

нонотрубок в умовному кубі.

4. Умовний об'єм наноматеріалу складає

$$V = H * H * H = 7500 * 7500 * 7500 = 4,21875E-25 \text{ м}^3.$$

5. Атомна маса одного атома вуглецю дорівнює: $m_1 = 1,9944235E-26$ кг [26], тому загальна маса нанотрубок в обраному умовному об'ємі

$$M_{nnt} = 610 * 121 * 1,9944235E-26 = 1,47208E-21 \text{ кг}$$

6. Приведена густина вуглецевих нанотрубок дорівнює

$$\rho = \frac{M_{nnt}}{V} = \frac{1,47208E-21}{4,21875E-25} = 3489 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 3,489 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

7. Для переведення масового коефіцієнту армування в об'ємний за 100% прийнято 100 г композиту.

8. Об'єм гуми в композиті при коефіцієнті армування 0,5% дорівнює:

$$V_{1rubber} = 99.5 * 1.15 = 114.425 \text{ см}^3,$$

а при коефіцієнті армування 1%:

$$V_{2rubber} = 99 * 1,15 = 113,85 \text{ см}^3.$$

9. Аналогічно для нанотрубок:

$$V_{1nnt} = 0.5 * 3.489 = 1.7445 \text{ см}^3,$$

$$V_{2nnt} = 1 * 3,489 = 3,489 \text{ см}^3.$$

10. Розрахунок об'ємного відсотку армування виконується за формулою:

$$f_v = \frac{V_{nnt} * 100}{V_{nnt} + V_{rubber}},$$

згідно якої

$$f_{v1} = \frac{1.7445 * 100}{1.7445 + 114.425} = 1.5\%,$$

$$f_{v2} = \frac{3.489 * 100}{3.489 + 113.85} = 2.97\%.$$

11. З таблиці 4.1 знаходимо що коефіцієнт армування по масі $f_{m0.5}$ відповідає коефіцієнту по об'єму $f_{v1} = 1,5\%$, а f_{m1} відповідає $f_{v2} = 2,5\%$.

Результати порівняння результатів чисельних екскрементів з результатами натурних експериментів відображені на рис.8.3.

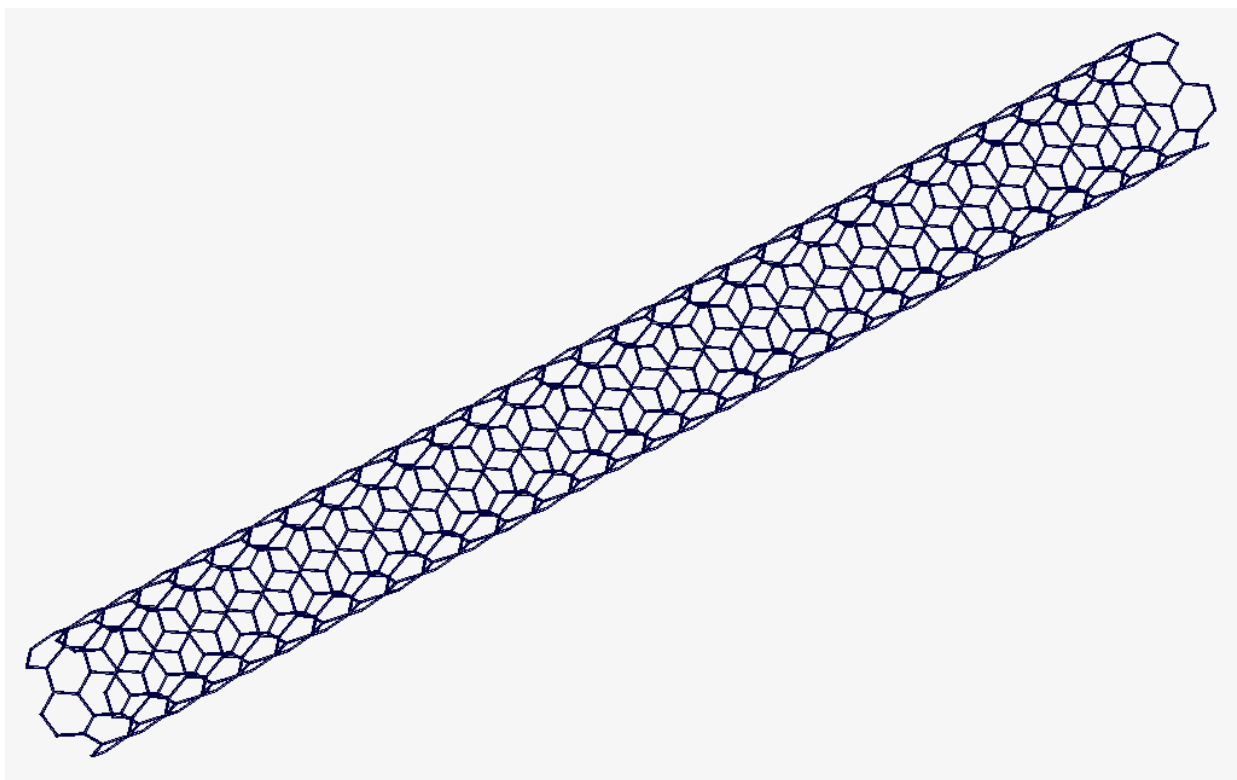


Рис.8.1 Схема вуглецевої нанотрубки

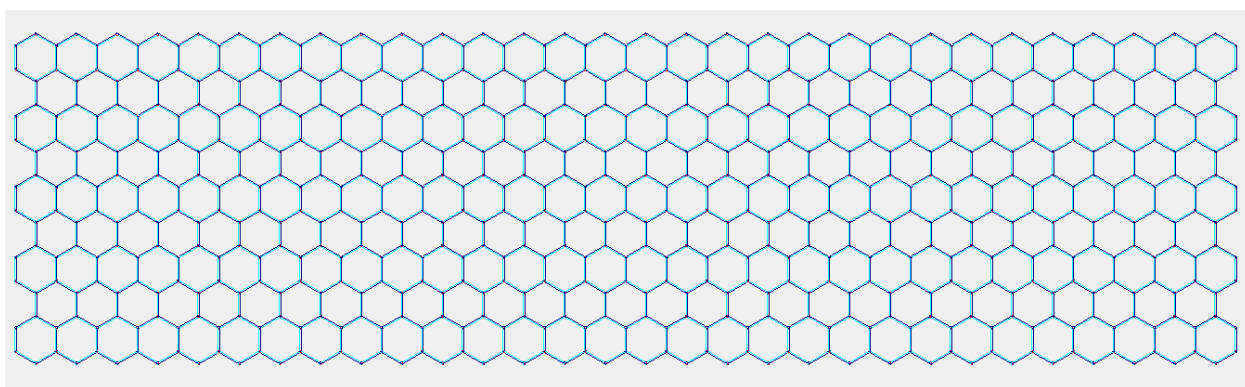


Рис.8.2 Розгортка схеми вуглецевої нанотрубки

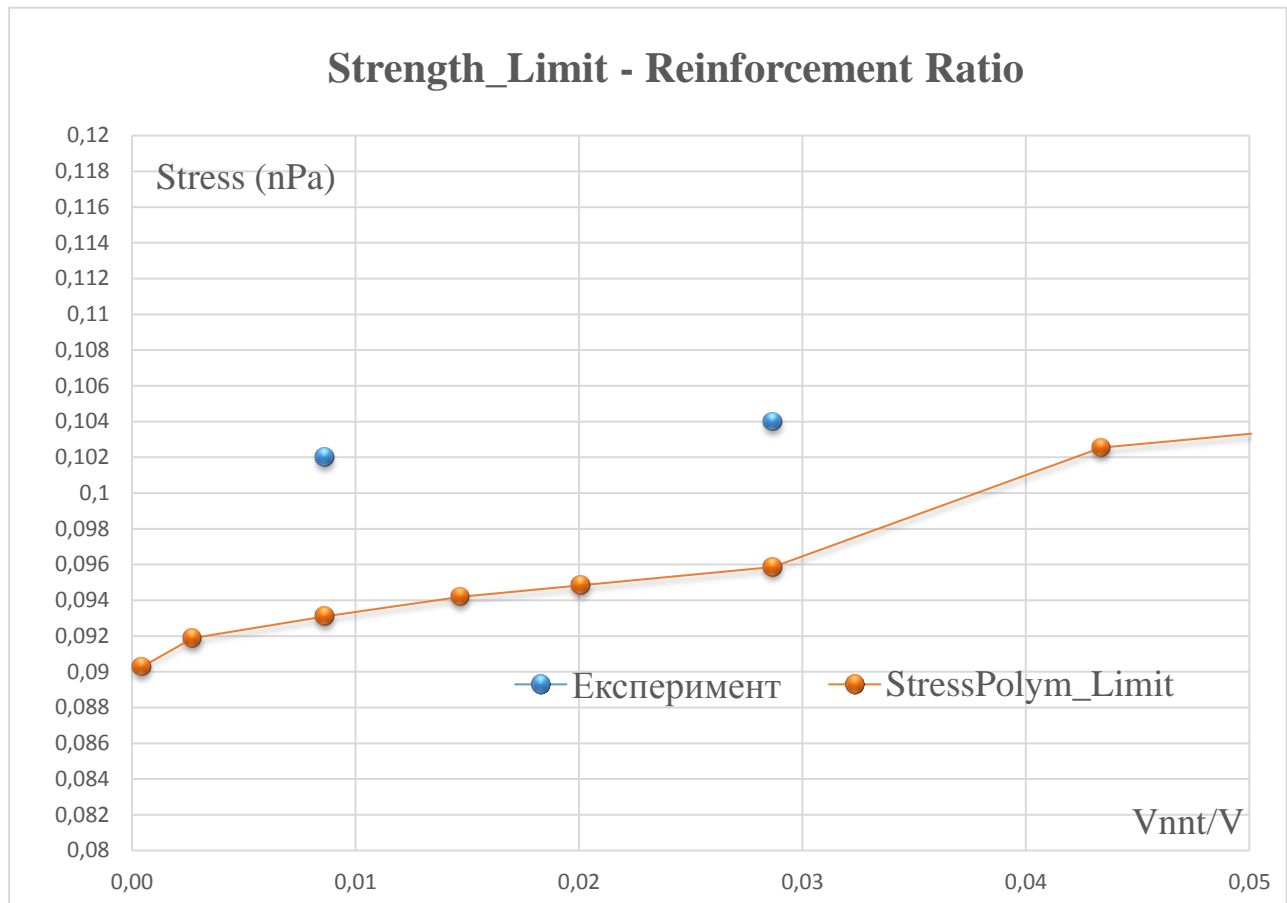


Рис.8.3 Графік залежності межі міцності від коефіцієнта армування та точки експериментальних значень

Аналіз отриманих результатів (рис.8.3) свідчить про те, що відносна похибка для коефіцієнту армування 0,5% складає 7,8%, а для коефіцієнту армування 1% складає 8,7%. Дані відхилення результатів чисельних експериментів від натурних експериментів не перевищує 10%, що є задовільним для інженерних розрахунків.

9. Вибір обладнання для модернізації лінії

Для того, щоб правильно вибрати обладнання для виробництва адаптивно наномодифікованих шин потрібно визначити необхідні параметри ультразвукових диспергаторів та високошвидкісного гумозмішувача. Таким параметром є продуктивність. Так як лінія працює в безперервному режимі, потрібно забезпечити необхідну кількість сировини, яка буде надходити на пристрої. Це гумова суміш, яка витрачається на протектор та клей, що використовується на складальному верстаті. Для визначення необхідної продуктивності верстатів потрібно визначити необхідний об'єм гумової суміші для протектора та клею для склеювання протектора та основи шини в складальній машині.

В лінії установлена складальна машина для шин TOPLIT B/C-STB-2P-FT-2228 з параметрів якої відомо, що шар протектора має діаметр 700 мм, ширина 250 мм та висота 15 мм. Відповідно з цього, об'єм протектора дорівнює $0,00842\text{м}^3$. Продуктивність складальної машини досягає 30 шин за годину. Витрата гуми, при цьому, на одну складальну машину становить $0,2526\text{м}^3/303\text{кг}$ в годину. Така витрата гумової суміші відповідає продуктивності гумозмішувача PERMIX PD-500 (рис.9.1). Характеристики гумозмішувача наведено в таблиці.9.1, а вартість його в 2020 році складає 144 352 гривень [22].



Рис.9.1 Гумозмішувач PERMIX PD-500 [22]

Таблиця 9.1.

Технічні характеристики гумозмішувача PERMIX PD-500

Робочий об'єм (L)	Потуж ність двигуна (кВт)	Макс. Швидкість валу (об / хв)	Діаметр робочого органу (мм)	Ваг а (кг)
500	11	1500	300/250	130 0

Для гумової суміші використовується до 10% вмісту масел та олій, що становить 33 кг/год. Ця суміш використовується для приготування емульсії. На основі літературно-патентного огляду [14,24], для ефективної деспергації нанотрубок в емульсії та клеї вирішено використовувати ультразвукові деспергатори фірми JH, які орієнтовані на розмішування вуглецевих нанотрубок в різних рідинних середовищах. Фірма JH випускає серію ультразвукових диспергаторів серед яких найбільш ефективним для виконання даної операції є диспергатор JH-JX10 (рис.9.2) продуктивністю 12-36 кг/год та диспергатор JH-JX50 з продуктивністю 60 кг/год. Так як при майбутніх модернізаціях лінії по виробництву шин, диспергатор JH-JX10 може не забезпечити необхідну продуктивність, в роботі вирішено зробити вибір на користь ультразвукового диспергатора Ultrasonic graphene dispersing equipment JH-JX50 (рис.9.2) [24]. Характеристики цього диспергатора наведено в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2.

Технічні характеристики ультразвукових змішувачів JH-JX10, JH-JX50

Модель	JH-JX10	JH-JX50
Вхідна напруга	380 В / 220 В \pm 10 В 50 Гц	
Робоча частота	20 кГц	
Обробна потужність	10-30л	50л

Інтенсивність кавітації	ультразвукової	3,0-4,5 (ш / см ²)
Матеріал ультразвукового зонда	Титановий сплав	
Матеріал реактора	304/316 нержавіюча сталь	
Метод охолодження	Кругообіг холодної води	
Тип реактора	П-подібна труба	П-подібна труба
Пульт	настроюваний	



Рис.9.2 Диспергатор JH-JX10 та JH-JX150[24]

Складальна машина TOPLIT B/C-STB-2P-FT-2228 [23] має пристрій для автоматичного нанесення клею з товщиною шару від 0,2 до 1 мм. Максимальна витрата клею на одну шину 0,00055 м³, загальна витрата клею 7,8 кг за годину тому для цієї операції вибрано диспергатор Ultrasonic graphene dispersing equipment JH-JX10 [24] продуктивністю 12-36кг/год та характеристиками наведеними в таблиці 9.2.

Вартість ультразвукового генератора JH-JX10 у 2020 році становить 793 936 гривень, а JH-JX50 1 082 640 гривень [24].

Вибрані агрегати будуть встановлені в лінії по виробництву шин так, щоб готова емульсія з ультразвукового генератора JH-JX50 подавалась в

гумозмішувач PERMIX PD-500. Після виконання операції гумозмішування, готова сировина подається на шприц машини для формування протектора.

Ультразвуковий генератор JH-JX10 в лінії має бути розташований біля складальної машини для змішування вуглецевих нанотрубок та клею. На рис.9.3 наведено схему модернізації лінії з виробництва адаптивно наномодифікованих автомобільних шин.

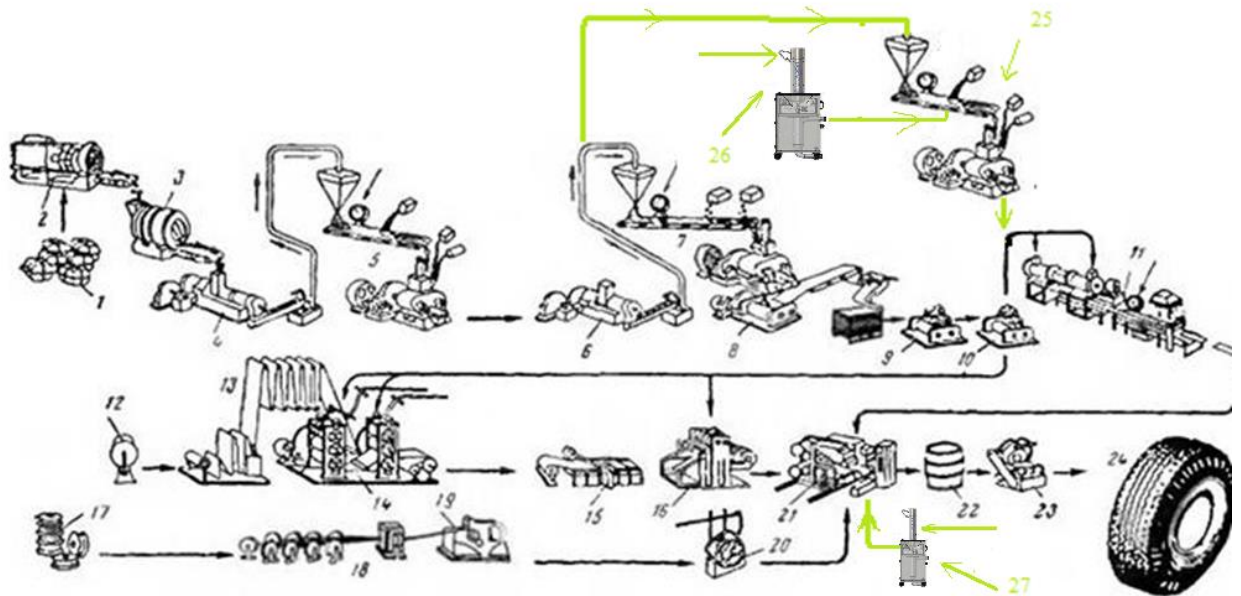


Рис.9.3 Схема лінії по виробництву адаптивно наномодифікованих автомобільних шин [25]: 1 - каучук до, 2 - різання каучуку, 3 - усереднювальний барабан, 4-пластикатор гранулятор, 5 - ділянку додавання матеріалів і приготування маточних сумішей (перша стадія змішування), 6 - гранулювання, 7- додавання матеріалів і приготування гумових сумішей (друга стадія змішування); 8 –листування гуми. 9- підігрівальні вальці, 10-живильні вальці, 11-спарені шприц машини (виготовлення протекторів),12-корд, 13 - просочування та сушіння корду, 14- обрізання корду (каландри), 15- розкрій корду, 16- накладення гумових прошарків, 17 - сталевий дріт, 18- обрізання дроту, 19 - виготовлення бортових кілець, 20-виготовлення крил, 21 - складання покришок, 22- вулканізовані покришки, 23 - формування і вулканізація покришок (форматор-вулканізатор), 24 - готова покришка, 25- високошвидкісний роторний змішувач, 26,27 - ультразвуковий генератор.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської дисертації на тему «Обладнання для виробництва наномодифікованих шин з дослідженням їх механічних властивостей» досягнені наступні результати:

- запропонована модернізація лінії з виробництва наномодифікованих автомобільних шин;
- розроблена методика наномодифікації для автомобільних шин;
- проаналізовано сучасні методи покращення характеристик автомобільних шин та методи їх виготовлення;
- проведено огляд технологій виготовлення наномодифікованої гуми з аналізом технічних та механічних характеристик наномодифікованих гумових сумішей;
- розроблено 3D модель типової автомобільної шини;
- визначено напружено-деформівний стан типової автомобільної шини за умов її вертикального навантаження та проаналізовано розподіл напружень та деформацій, які виникають в клейовому шарі між протектором і основою шини;
- виявлено концентратори напружень і слабкі місця в шині та безпосередньо в клейовому шарі;
- проведено чисельні дослідження задачі витягування нанотрубки з масиву гуми та побудовані графіки залежності вектора узагальненої реакції на торці нанотрубки від вектора вимушених зміщень торця;
- визначено межі міцності для наномодифікованої вуглецевими нанотрубками гуми в залежності від коефіцієнту армування композиції та виявлено ефективний коефіцієнт армування;
- вибрано машини для встановлення в лінію для виробництва адаптивно наномодифікованих шин, а саме: гумозмішувач PD-500 фірми PERMIX (Шанхай, Китай) для ефективної деспергації нанотрубок в гумі протектора ; диспергатор Ultrasonic graphene dispersing equipment JH-JX10

фірми JH (Чжецзян, Китай) для ефективної диспергації нанотрубок в клеї; диспергатор Ultrasonic graphene dispersing equipment JH-JX50 (Чжецзян, Китай) фірми JH для ефективної диспергації нанотрубок в емульсії, що додається до гумової суміші протектора.

Список використаних літературних джерел

1. Метод конечных элементов в механике твердых тел. / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. - 480 с.
2. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР: Пер. с франц. – М.: Мир, 1989. – 190 с., ил.
3. Броек Д. Основы механики разрушения. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с..
4. Сахаров О.С. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості / Сахаров А.С., Гондляр А.В., Сівецький В.І., Щербина В.Ю. // К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006, -156с.
5. Гондляр А.В. Итерационно-аналитическая теория деформирования многослойных оболочек // Соппротивление материалов и теория сооружений. - К.: Будивэльник.-1988.-N53.-с.33-37.
6. Сахаров, О. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел // К.: Вища школа, 1982, С. 214–279.
7. САПР. Система інформаційної підтримки життєвого циклу захисних оболонок та обладнання АЕС/ Гондляр О.В., Сівецький В. І., Щербина В. Ю., Чемерис А. О., Онопрієнко В. Ю. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 190с. – Бібліогр. : с. 182-187. – 300пр.
8. Гондляр О.В., Сахаров О.С., Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Чемерис А.О. САПР. Чисельне моделювання нелінійного деформування та руйнування багатошарових елементів хімічного обладнання. Частина 1. Пружні муфти . — К.: ВП «Едельвейс», 2011. -172 С.
9. НПАОП 24.1-1.07-10. Про затвердження правил охорони праці для виробництв основної хімічної промисловості (31723).
10. <https://vianor.ua/nformats-ia-pro-shinu/dan-pro-shinu/konstrukts-ia-shini/>

11. <https://www.4tochki.ru/spravochnye-stati/shiny-pirelli-made-in-russia/>
12. Бекин Н.Г., Порт Б.С., Шилов Г.Н. Станки для сборки автомобильных покрышек. Конструкция и расчет, М.: Машиностроение, 1974. — 168 с.
13. Шашок Ж. С., Прокопчук Н. Р., Усс Е. П., Жданок С. А., Крауклис А. В. Модификация свойств эластомерных композиций углеродными наноматериалами. «Перспективные исследования и технологии». Белорусский государственный технологический университет, 2000, с. 198–203.
14. Trachevskyi Viacheslav, Kartel Mykola, Sementsov Yurii, Zhuravskyi Serhii, Wang Bo. Modification of Specialty Rubbers by Carbon Nanomaterials. International Journal of Materials Science and Applications. Vol. 8, No. 6, 2019, pp. 135-135. doi: 10.11648/j.ijmsa.20190806.17
15. Шашок Ж. С., Прокопчук Н. Р., Побединская Н. П., Крауклис А. В., Исследование влияния модифицированного углеродного наноматериала на свойства эластомерных композиций. Труды БГТУ. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова» НАН Беларуси, с.- 232 с
16. Николаев И.В., Даньшина В.В.. Исследование механических характеристик резинотехнических изделий, модифицированных углеродными нанотрубками. Вестник ПНИПУ. Омский государственный технический университет, Омск, Россия, 2015, с-56-60.
17. Popov G.V, Igumenova T.I., Shul'ga A.M.. Study of surface modified polymers in the modification of nanomaterials. Вестник ВГУИТ. Department of chemistry and chemical technology of organic compounds and polymer processing. phone (473) 253-26-30 E-mail: igynti8@rambler.ru , 2014, с – 122-135.
18. Шашок Ж. С., Прокопчук Н. Р., Мозгалева В. В., Крауклис А. В. Влияние структуры углеродного наноматериала на технические свойства резин. Труды БГТУ. Отделением нанопроцессов и материалов (Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси), 2010, с -177-181
19. <https://www.hielscher.com/uk/ultrasonic-preparation-of-reinforced->

rubber.htm

20. Copyright 2007 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. All rights reserved. Published by John Wiley & Sons, Inc. Published simultaneously in Canada Wiley Bicentennial Logo: Richard J. Pacifico

21. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Єфименко Є.А.. "Дослідження напружено-деформованого стану обертового теплового агрегату". Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2018. N 1. С. 65-72. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143382.

22. Щербина В.Ю., Чемерис А.О., Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 38 с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>

23. https://www.alibaba.com/product-detail/Foldable-tire-building-machine_60713530594.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4b9c24f7DLXJSI

24. https://www.alibaba.com/product-detail/Ultrasonic-graphene-dispersing-equipment_60827998410.html?spm=a2700.details.deiletai6.9.132f1713Nk8Xy8

25. Голобч рдин Д. И.. Лукьянчиков Н. М. Агрегат для раскроя, стыковки и закатки обрехинспного мсгаллокордного полотна.'11рои iBcasieo и использование эластомеров. - 2000,- N6.-с.-1 0-13.

26. Электронные свойства и применение нанотрубок [Электронный ресурс] / П. Н. Дьячков. — 3-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. 1 файл pdf : 491 с. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — (Нанотехнологии).

27. <https://www.google.com/search?client=opera&q=густина+гуми&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8>

28. https://russian.alibaba.com/product-detail/carbon-nanotubes-cnt--62078158191.html?spm=a2700.8699010.videoBannerStyleB_top.13.3c7811c0Q4vJt_1

29. Хічевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навч. посібник / В. В. Хічевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко, К. Г. Лопатьмо – К.: Либідь, 2002. – 328 с.

30. <https://www.4tochki.ru/news/novosti-rynka-shin-i-avtokomponentov/2019/noyabr/22/sozdateli-unikalnogo-nanomodifikatora-dlya-shin-otmecheny-premiey-sdelano-v-rossii.html>

31. <https://www.4tochki.ru/news/novosti-rynka-shin-i-avtokomponentov/2020/oktyabr/13/ocsial-otkryla-evropeyskiy-rd-centr-grafenovyh-nanotrubok.html>

32. <https://www.4tochki.ru/news/novosti-rynka-shin-i-avtokomponentov/2017/fevral/20/ocsial-prodolzhaet-rabotu-po-vnedreniyu-uglerodnyh-nanotrubok-v-proizvodstvo-shin.html>

33. <https://www.4tochki.ru/news/novosti-rynka-shin-i-avtokomponentov/2018/fevral/07/proizvoditel-nanotrubok-dlya-shinnoy-otrasli-proshel-mezhdunarodnuyu-sertifikatsiyu.html>

34. Шашок Ж. С., Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях / Ж. С. Шашок, Н. Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2014. – 232 с. – ISBN 978-985-530-317-7.

Додатки
до магістерської дисертації
на тему:
«Обладнання для виробництва наномодифікованих шин з
дослідженням їх механічних властивостей»

Київ 2020

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Стандартные изделия		
		7		Болты ГОСТ 7798-70		
		42		M12-6gx75.48.06	16	
		43		M16-6gx75.48.06	24	
		44		M24-6gx65.58.06	28	
		45		M30-6gx80.58.06	14	
		46		M36-6gx120.58.06	6	
		47		M36-6gx400.58.06	6	
				Гайки ГОСТ 5915-70		
		48		M12-6H.6.06	14	
		49		M16-6H.6.06	24	
		50		M24-6H.6.06	28	
		51		M30-6H.6.06	36	
		52		M36-6H.8.06	12	
				Гвинты ГОСТ 11738-84		
		53		M20-6gx35.66.06	24	
				Гвинты ГОСТ 1476-84		
		54		B.M12-6gx16.14H.06	16	
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		55		16.65Г.05	14	
		56		24.65Г.05	8	
		57		30.65Г.05	26	
		58		36.65Г.05	6	
				Шайбы ГОСТ 11371-78		
		59		2.12.02. Ст3 кп2.06	32	
		60		2.16.02. Ст3 кп2.06	10	
		61		2.20.02. Ст3 кп2.06	24	
		62		2.30.02. Ст3 кп3.06	10	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛП91мп.075166.001	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
					Лист	
					3	

[illegible]

Ім'я користувача:
Щербина Валерій Юрійович

ID перевірки:
1005469844

Дата перевірки:
16.12.2020 16:11:48 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
16.12.2020 16:14:06 EET

ID користувача:
77126

Назва документа: Дисертація_МамчурОВ

Кількість сторінок: 53 Кількість слів: 8003 Кількість символів: 62701 Розмір файлу: 3.05 MB ID файлу: 1005759562

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

12.8% Схожість

Найбільша схожість: 9.9% з Інтернет-джерелом (<https://www.freepapers.ru/66/otchet-po-praktike-na-vat/284879.185812>).

12.8% Джерела з Інтернету

2

Сторінка 55

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

2.87% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 2%)

2.87% Вилучення з Інтернету

48

Сторінка 56

Немає вилучених бібліотечних джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Підозріле форматування

10
сторінок

Література:

1. Sakharov A.S., Gondlyakh A.V., Mel'nikov S.L., Snitko A.N. Numerical modeling of processes of failure of multilayered composite shells. Mechanics of Composite Materials. May 1989, Volume 25, Issue 3, pp 337–343. DOI: 10.1007/BF00614801 EID: 2-s2.0-0024756009. Springer, Scopus - Elsevier
2. Gondliakh A.V. Refined model of multilayer structures deformation for progressive destruction processes study. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 2, No 7(56) (2012), pp. 52-57. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3759/3519>.
3. Gondliakh A.V. Adaptation in ABAQUS of the iterated-analytical multilayer user finite element // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №7 (57), 2012, v. 3, pp. 62-68, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4065>.
4. Горобчук В.М., Горобчук Я.М., Гондлях О.В. Деформаційні властивості полімерних гранул. // Збірник доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020, с. 70-73.

Оцінка параметра тріщиностійкості номомодифікованих каучукових виробів

Мамчур О.В., студент, Шилович Я.І., інженер, Гондлях О.В., проф., д.т.н.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проведено модель для визначення параметрів тріщиностійкості номомодифікованого каучуку. В результаті моделювання в системі APROKS отримано нелінійну діаграму залежності «реакція-переміщення» при вилученні нанотрубки з елементарного елемента каучуку. За допомогою цієї діаграми виконано порівняння параметрів тріщиностійкості первісного та номомодифікованого каучука.

Ключові слова: нанотрубка, номомодифікований каучук, метод скінчених елементів.

Розрахунок номомодифікованого каучука виконаний в рамках програмного забезпечення APROKS, яке розроблене кафедрою ХПСМ КПІ[1-2]. На базі системи APROKS проведений розрахунок вуглецевої нанотрубки з полімерною молекулою і масивом каучука та розроблена її розрахункова схема. Для обчислення розроблено скінченно елементну модель нанотрубки, яка приведена на рис. 1. Також розроблена скінченно-елементна модель нанотрубки в масиві каучука (рис. 2).

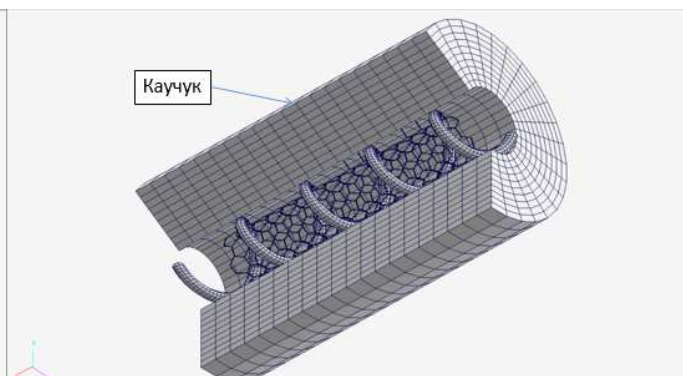
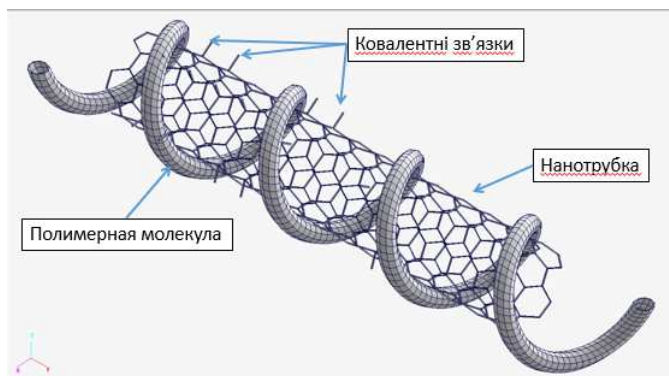


Рис. 1. Скінченоелементна модель нанотрубки

Рис. 2. Скінченоелементна модель нанотрубки в масиві каучука

Розрахункову схему елементарного об'єму «нанотрубка-каучук» наведено на рис. 3.

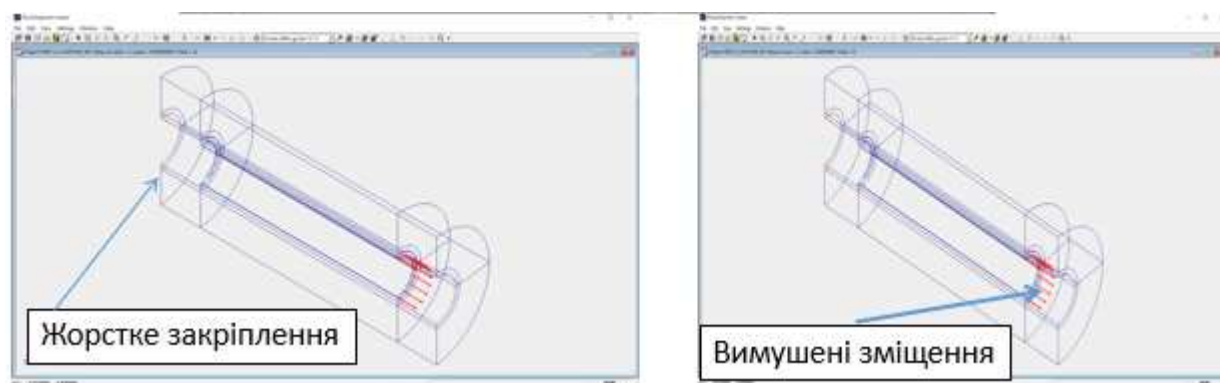


Рис. 3. Розрахункова схема

В результаті проведеного чисельного експерименту отримано діаграму (рис. 4) з якої видно, що процес витягування нанотрубки з масиву каучука проходить в чотири етапи. На першому етапі (рис. 4,а) з'являється локальна зона відшарування нанотрубки від масиву каучука. В результаті перерозподілу напружень після виникнення зони розшарування проходить поступове зменшення ковалентного взаємодії (рис 4,б). Третім етапом є прогресуюче відшарування нанотрубки від каучуку (рис. 4,с). В подальшому на рівні середини нанотрубки проходить розрив каучукової молекули і починається руйнування на лівому торці нанотрубки (рис 4, d). В результаті цього контакт нанотрубки з каучуковим масивом повністю зникає про що свідчить різке падіння параметра реакції «R» на діаграмі (рис. 4.).

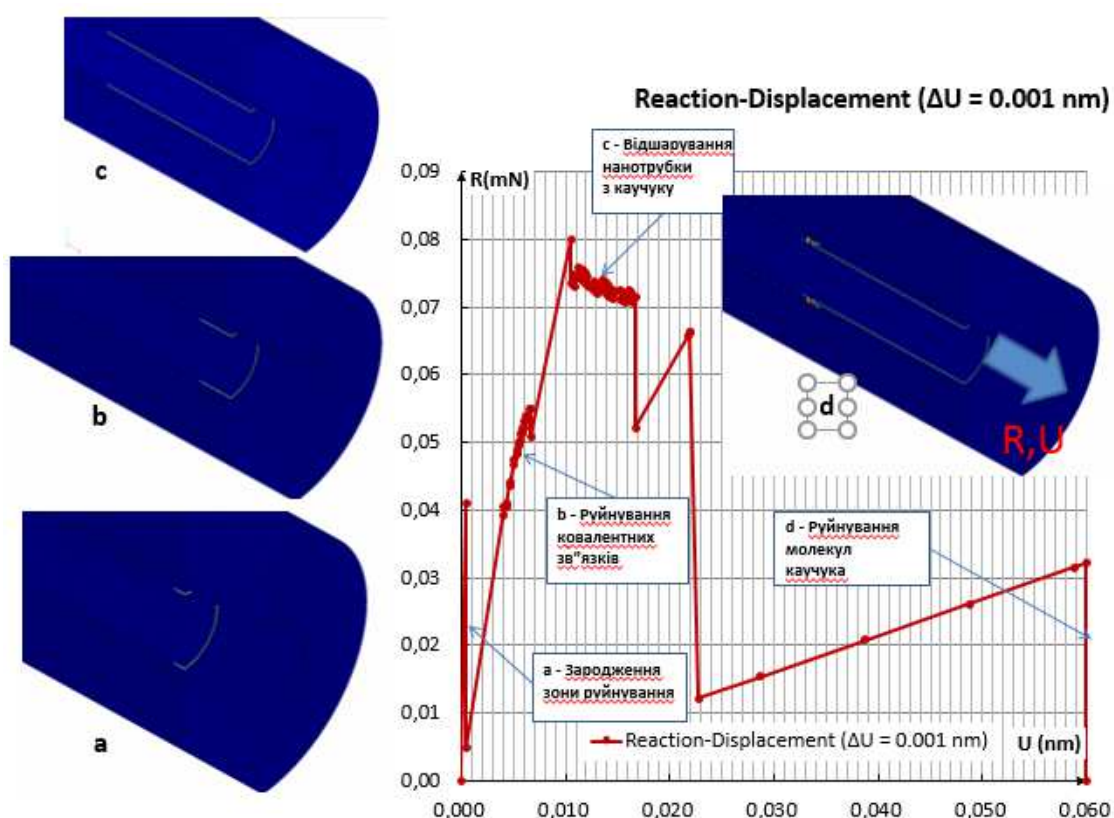


Рис. 4. Результати розрахунків

На базі отриманих результатів можна оцінити роботу яку потрібно здійснити при витаскуванні одної нанотрубки з каучукового масиву згідно з формулою $S = \int R(U) dU$, та в подальшому врахувати вклад цієї роботи при визначенні параметрів тріщиностійкості наномодифікованого каучука та порівняти їх з показниками не модифікованого каучуку. Ці параметри в майбутньому буду застосовані для оцінки тріщиностійкості автомобільних шин з урахуванням стохастичного розподілу в них вуглецевих нанотрубок.

Література:

1. Sakharov A.S., Gondlyakh A.V., Mel'nikov S.L., Snitko A.N. Numerical modeling of processes of failure of multilayered composite shells. Mechanics of Composite Materials. May 1989, Volume 25, Issue 3, pp 337–343. DOI: 10.1007/BF00614801 EID: 2-s2.0-0024756009. Springer, Scopus - Elsevier
2. Gondliakh A.V. Refined model of multilayer structures deformation for progressive destruction processes study. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 2, No 7(56) (2012), pp. 52-57. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3759/3519>.

УДК 678.6/7 : 678.05

Види полімерної сировини та шляхи її використання

Кувшинов О. В., студент; Гондлях О. В., д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проаналізовано існуючі тенденції розвитку промисловості та виявлено велику зацікавленість до пластичних мас через їх своєрідні технічні вигідні властивості. Розглянуто види полімерної сировини (первинної і вторинної) та проведено ознайомлення з її властивостями, серед яких відзначаються низькі трудовитрати, енерговитрати та доступність вихідної сировини. Полімерна сировина використовується в багатьох сферах виробництва і в звичайному, повсякденному житті людей. Розповсюдження набуває гранульований прес-матеріал у зв'язку з розвитком техніки. Практично всі термопласти переробляються полімерну сировину у вигляді гранул, тому наведено результати серії методів подрібнення. Проведений огляд базується на фактичних даних, отриманих різними дослідниками.

Наслідком науково-технічного прогресу є виробництво пластмас, яке зростає з кожним роком і поширюється, фактично, в усіх галузях народного господарства. Велика зацікавленість до пластичних мас виникла не тільки через їх своєрідні технічні вигідні властивості, тобто низьку питому густину, наявність високо еластичного стану, високу хімічну стійкість тощо. Також виготовлення виробів з пласмас відзначаються низькою трудовитратою, енерговитратою та доступністю вихідної сировини.

При аналізі тенденцій розвитку промисловості виділяються певні перспективні напрямки підгалузі: реконструкція технічного обладнання на діючих виробництвах; активний розвиток хімічного машинобудування для створення нового обладнання із широким залученням робототехніки і засобів автоматизації; розробка та використання нових технологій для забезпечення часткового (або повної відсутності) забруднення навколишнього середовища і створення екологічно чистих технологічних процесів, впровадження автоматизованих технологічних ліній, а також систем автоматичного проектування.

Вирішення поставлених завдань великою мірою залежить від кваліфікаційного рівня спеціалістів, керівників технологічних процесів, технологів та конструкторів.

Мета статті полягає у розгляді видів полімерної сировини, ознайомленні з її властивостями і найбільш поширеним використанням у промисловості.

Полімерна сировина – загальний термін, який включає в себе три види синтетичних пластиків:

Полімери – високомолекулярні речовини з різними добавками: стабілізаторами, інгібіторами, пластифікаторами, мастилами та іншими включеннями.

Пластмаси-композити на основі полімерів, які включають в себе різні наповнювачі, пігменти та інші компоненти, в свою чергу, підрозділяються на дві групи: термопластичні і термореактивні. Перші можуть бути розплавлені і сформовані багаторазово, а другі – лише

Вплив залишкових напружень на утворення дефектів в елементах ферми жорсткості аміакопроводу в процесі її експлуатації

Оніщук О.А., Мамчур О.В., Гондлях О.В., доктор наук, професор, Чемерис А.О. к.т.н., доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Визначенні причини виникнення дефектів в конструкції ферми аміакопроводу

Споруда магістрального аміакопроводу Тольятті-Одеса була побудована 1981 р. та експлуатується вже протягом 40 років, однією з основних проблем при розробці систем інформаційної підтримки є відновлення історії деформування з моменту початку його експлуатації. Важливу увагу потребують елементи конструкції в яких спостерігається відхилення від початкового проектного стану (локальна втрата стійкості окремих елементів з виникненням зон пластичного деформування (рис.1), викривлення форми (рис.2), корозія (рис.3), зони з тріщинами (рис.4) і т.п.).



Рис.1. Локальна втрата стійкості фланця з виникненням зон пластичного деформування



Рис.2. Викривлення форми елементів



Рис.3. Дефект корозійного типу



Рис.4. Тріщини в ролику і фланці

Також актуальним є правильне врахування зміни фізико-механічних властивостей елементів конструкцій мосту за рахунок накопичення мікропошкоджень у матеріалі, що можуть виникати за рахунок циклічного характеру змін зовнішнього навантаження, а також зміни температури в режимах «день-ніч», «зима-літо».

Коректне врахування цих факторів дає інформацію про залишкові напруження та деформації, які діють в конструкції в даний момент, що є дуже важливим для оцінки залишкової міцності шляхопроводу. В даній роботі на базі чисельного моделювання [1-2] зроблений аналіз рівня залишкових напружень, які виникають в фланцевій стойці ферми жорсткості на етапі її виготовлення. Результати приведені на рис.5,6.

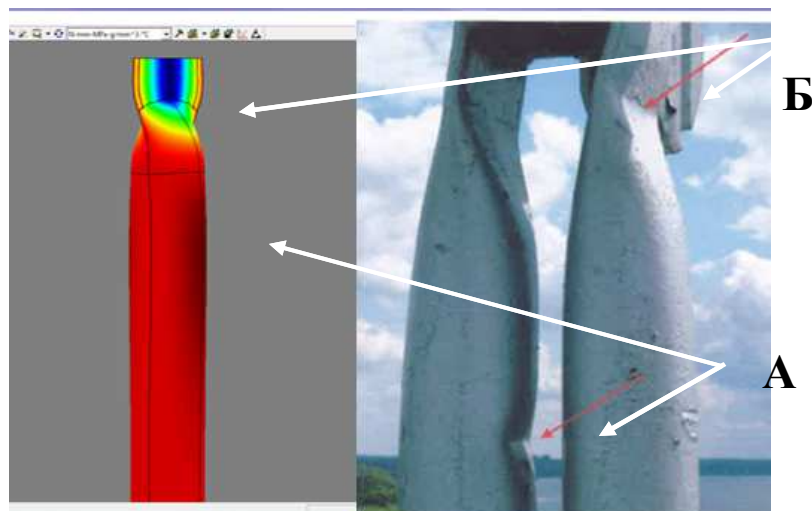


Рис.5. Пошкодження у фланці стойки ферми жорсткості

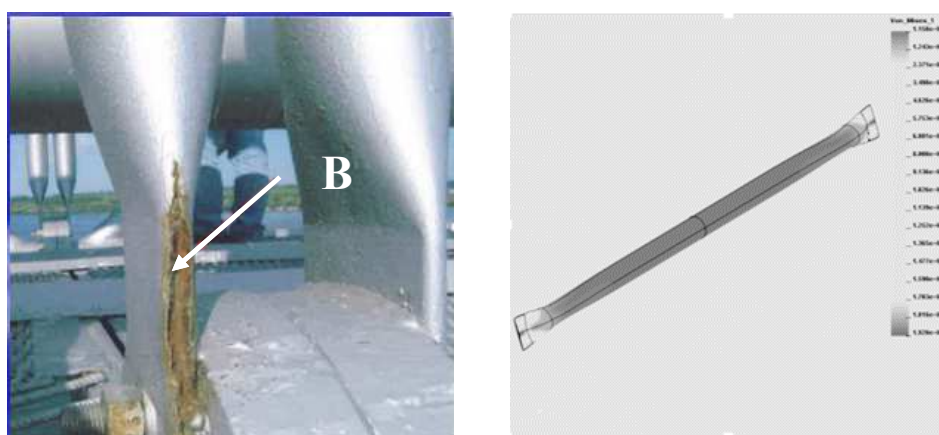


Рис.6. Тріщина в фланці стойки ферми жорсткості.

При порівнянні результатів числового експерименту з результатами візуального огляду цього елемента (2018 р.) можна зробити висновки, що:

1. Виникнення зони місцевої втрати стійкості в циліндричній частині стойки (зона А, рис.5) сприяє підвищений рівень залишкових напружень;
2. Виникнення дефекту (зона Б, рис.5) сприяють залишкові напруження в місці розширення фланця;
3. Виникнення тріщини (зона В, рис.6) зумовлено наявністю залишкових напружень і деформацій, які були утворені під час виготовлення фланця стойки ферми жорсткості.

Література

1. Gondliakh O., Onoprienko V., Nikitin R. Numerical Simulation of crack propagation in bimetallic spatial structures // Technology audit and production reserves. Vol 3, No 1 2014, pp. 23-27.
2. O. Gondliakh, V. Krytskyi, V. Onopriienko, A. Chemerys, N. Krytska. Computer Analysis of Thermomechanical State of Sealing Steel Lining for Containment of NPPs with VVER-1000/V-320 in Emergencies // Nuclear and Radiation Safety Journal . - 2017: № 4 (76). - С. 28-39.

Розробка 3D моделі фермової конструкції для подальшого її розрахунку методом скінченних елементів

Писаренко О.О., Устенко О.О., Мамчур О.В., Оніщук О.А., Гондлях О.В., Чемерис А.О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ;

Розробка 3D моделі фермової конструкції шляхопроводу для подальшого її розрахунку методом скінченних елементів.

Ключові слова: аміак, аміакопровід, 3D конструкція, метод скінченних елементів, шляхопровід.

Вступ. Аміак має велике промислове значення. В основному він використовується для виробництва добрив і є початковим продуктом для промислового синтезу багатьох хімічних речовин. Азотну кислоту отримують виключно з аміаку. Аміак виробляють зазвичай на великих підприємствах з продуктивністю до 1 тис. Т / добу. Для подальшої переробки аміак транспортують на інші підприємства автомобільним, залізничним транспортом або по трубопроводах. Аміак транспортують або в зрідженому вигляді, або охолодженим. Світове виробництво аміаку приблизно збігається з кількістю зі світовим виробництвом хлору.

Найбільший в Європі магістральний аміакопровід з Тольятті-Горлівка до Одеси протяжністю 2427 км. Система аміакопроводу вперше в світовій практиці оснащена телеконтролем і телекеруванням, що дозволяють автоматизувати весь процес транспортування аміаку. Аміакопровід розрахований на подачу 25 млн.Т. аміаку на рік і має 30 роздавальних станцій, які дозволяють забезпечити сільське господарство ряду областей України рідким аміаком - ефективним азотним добривом.

Аміаку присвоєно IV клас небезпеки, що вказує на те, що аміак є небезпечною речовиною для здоров'я і життя людей та навколишнього середовища, в зв'язку з цим аміакопроводу присвоєно статус стратегічного об'єкту. Важливою задачею є контроль за технічним станом даного об'єкту.

Контроль технічного стану висячого моста через р. Дніпро (рис.1.1), проводиться традиційними методами моніторингу мостових конструкцій, які передбачають його періодичний візуальний огляд службою експлуатації та більш детальні, один раз в 3-5 років, обстеження конструкції спеціалізованою організацією.

Міст являє собою висячу систему, основними елементами якої являються:

- висяча вертикальна ферма прольотом 720 м, що складається з несучих кабелів, розкосів (похилих підвісок) і ґратчастої балки жорсткості (рис. 1.2; рис. 1.3);
- два берегових пілона;

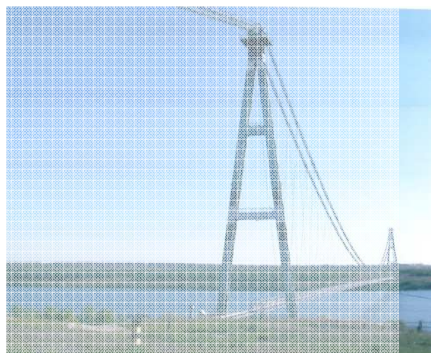


Рис.1.1 Трубопровідний міст для транспортування аміаку

- двопоясна горизонтальна вітрова система, що складається з поясів і горизонтальних відтяжок.

В даний час з'явилась необхідність для об'єктивної оцінки життєвого циклу моста. Розробка системи інформаційної підтримки життєвого циклу споруд в даній роботі виконується на базі використання сучасних чисельних методів оцінки напружено-деформованого стану мосту.

Для вирішення задачі по визначенню напружено-деформованого стану, надійності та оцінки залишкової міцності шляхопроводу використовується метод скінченних елементів.

Нижче приведені окремі вузли мосту аміакопроводу в яких під час перевірки було виявлено дефекти, та їх 3D моделі побудовані в системі Catia.

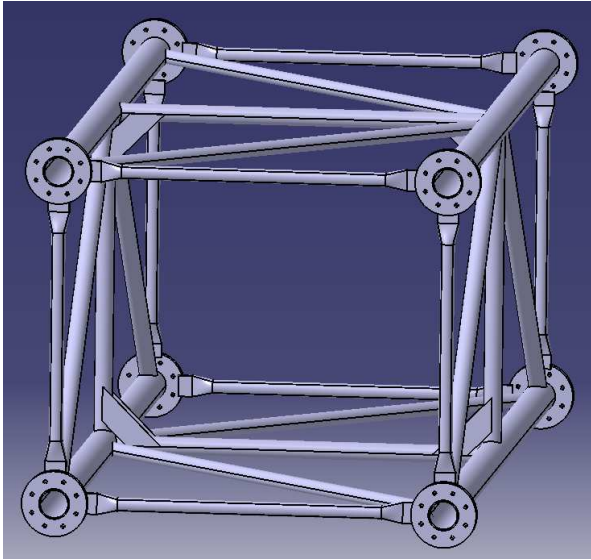


Рис.1.2 3D модель секції фермової конструкції побудована в системі Catia



Рис.1.3 Фото фермової конструкції аміакопроводу

Фасонка фермової конструкції аміакопроводу (рис. 1.4; рис. 1.5).

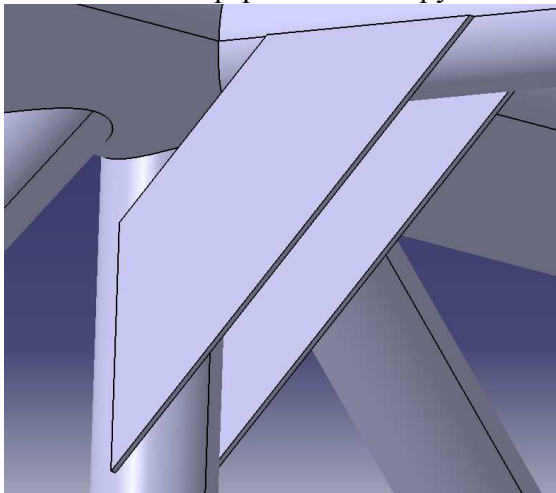


Рис.1.4 3D модель фасонки фермової конструкції побудована в системі Catia



Рис.1.5 Фото фасонки фермової конструкції аміакопроводу з зафіксованим дефектом

Вузол з'єднання вертикальної стійки з фланцем (рис. 1.6; рис. 1.7).

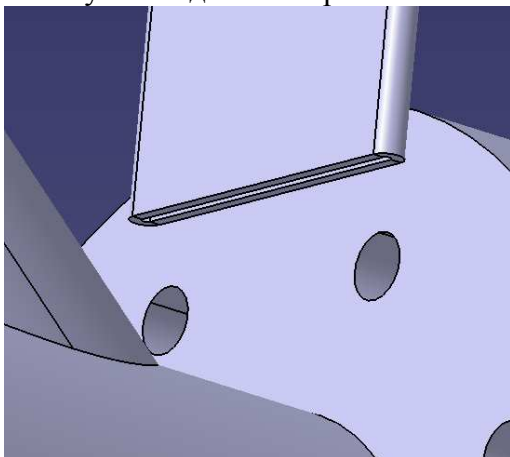


Рис.1.6 3D модель вузла з'єднання вертикальної стійки з фланцем побудована в системі Catia



Рис.1.7 Фото вузла з'єднання вертикальної стійки з фланцем аміакопроводу з зафіксованими слідами корозії

Болти з гайками, що використовуються для зчеплення секцій фермових конструкцій (рис. 1.8; рис. 1.9).

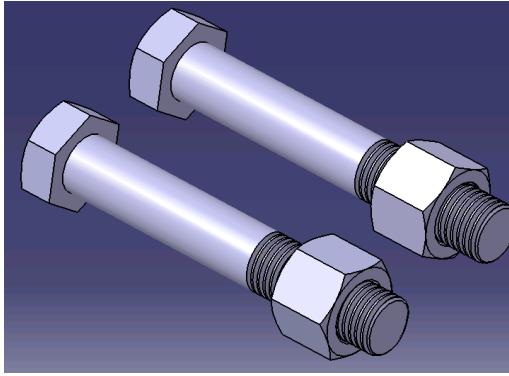


Рис.1.8 3D модель болтів з гайками, що використовуються для зчеплення секцій фермових конструкцій побудована в системі Catia

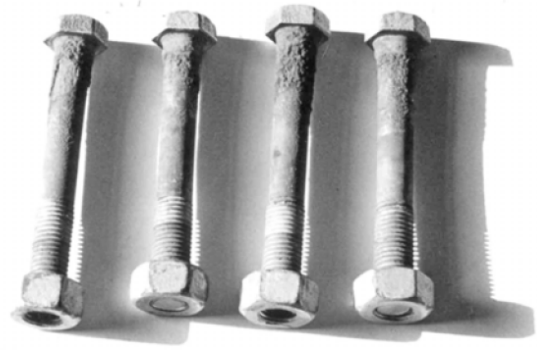


Рис.1.9 Фото болтів з гайками, що використовуються для зчеплення секцій фермових конструкцій з зафіксованими слідами корозії

Вертикальні стійки фермової конструкції (рис. 1.10; рис 1.11).

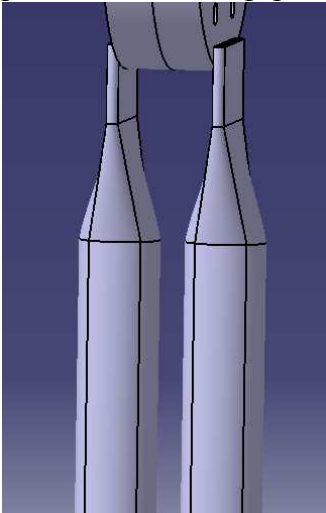


Рис.1.10 3D модель вертикальних стійок фермової конструкції побудована в системі Catia

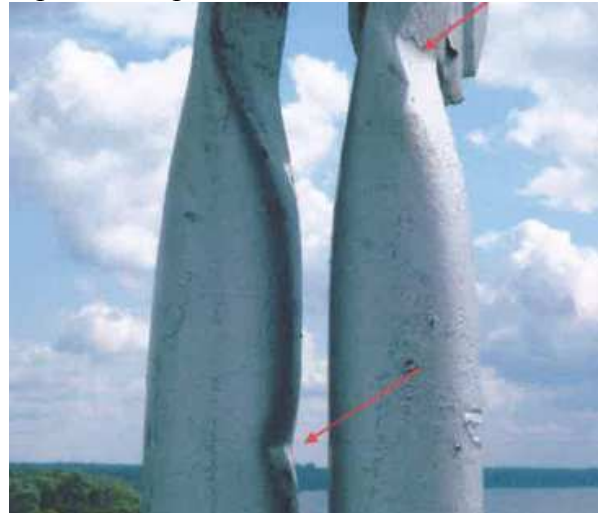


Рис.1.11 Фото вертикальних стійок фермової конструкції з зафіксованими місцевими деформаціями

Секція фермової конструкції розбита на сітку скінченних елементів (рис. 1.12). Було проведено випробовування дискретизації моделей вузлів ферми жорсткості в системах Catia, Abaqus, Ansys, Aproxs.

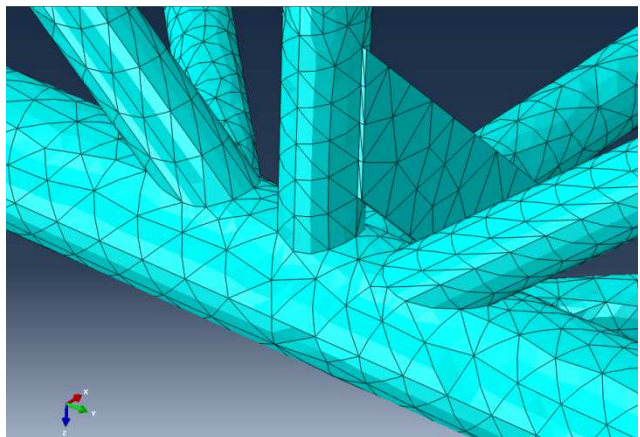
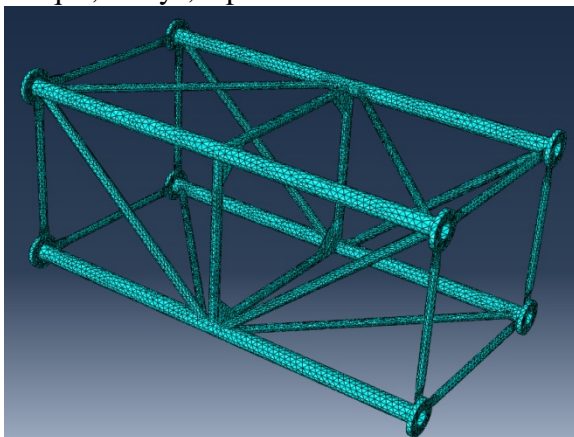


Рис.1.12 3D модель секції фермової конструкції розбита на сітку скінченних елементів

Висновок. Розроблено 3D модель секції фермової конструкції в системі Catia. Наступним етапом даної роботи є розрахунок напружено-деформованого стану побудованої моделі в системах Catia, Abaqus, Ansys, Aproxs.

Дискретизація конструктивних елементів аміакопроводів

Мамчур О.В., Гондляр О.В., доктор наук, професор, Чемерис А.О. к.т.н., доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Запропоновані скінчено елементні моделі для ефективного моделювання життєвого циклу аміакопроводу.

Для вирішення задачі по визначенню напружено-деформованого стану, надійності та оцінки залишкової міцності шляхопроводу використовується метод скінчених елементів [1-4]. Оскільки розрахунки повинні виконуватись за відносно короткий час використовується метод підконструкцій. При цьому оцінка загального деформованого стану виконується на базі скінчених елементів, які інтегрально враховують приведені характеристики елементів мосту, а деталізація напружено-деформованого стану здійснюється при вирішенні тривимірної задачі міцності окремих вузлів конструкції. Такий підхід дозволив коректно врахувати фактори накопичення пошкоджень (корозія, мікропошкоджень, тріщини і т.п.) та зробити висновки про необхідність профілактичного ремонту чи заміни елементів конструкції.

Розроблено скінчено елементну модель шляхопроводу, що приведена на Рис. 1.

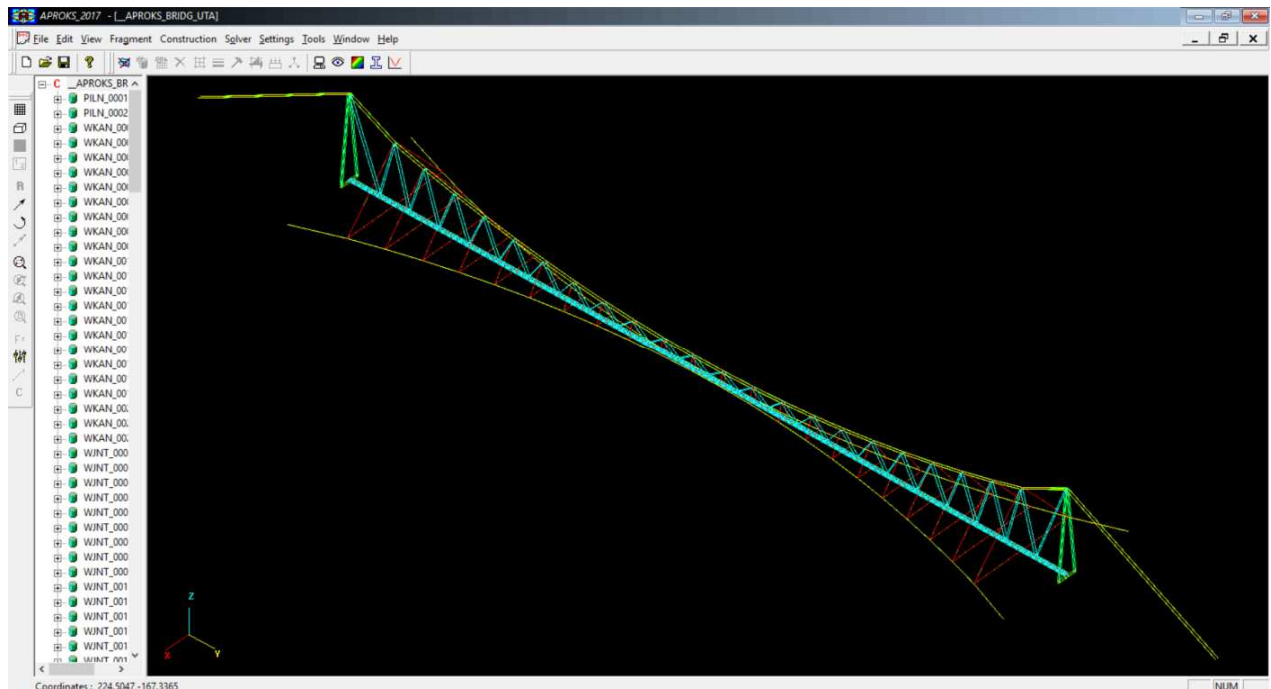


Рис.1. Скінченноелементна модель шляхопроводу

Скінченноелементні моделі деяких типових вузлів мосту приведені на Рис. 2.

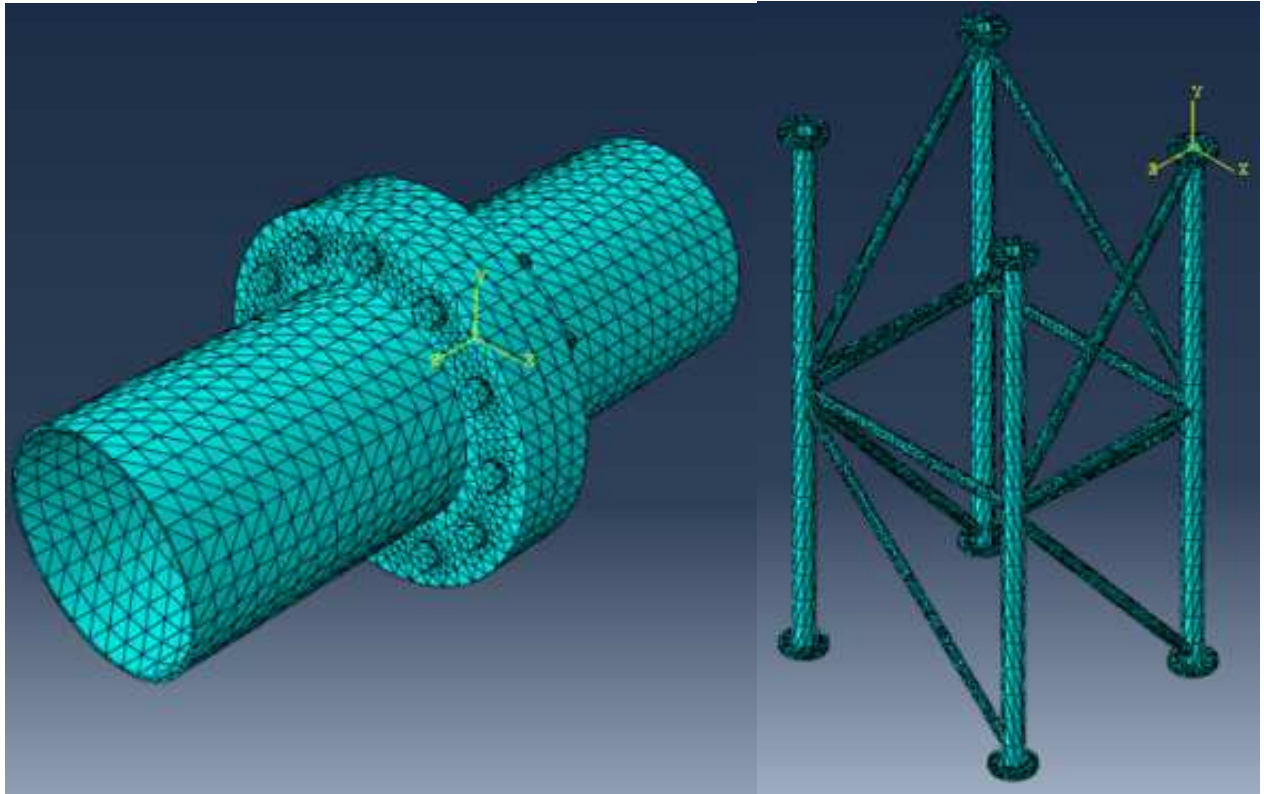


Рис.2. Скінченноелементні моделі типових вузлів мосту

Література

1. Метод конечных элементов в механике твердых тел. / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. - 480 с.
2. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР: Пер. с франц. – М.: Мир, 1989. – 190 с., ил.
3. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 504 с.
4. Д. Брок Основы механики разрушения. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с..